LECCIONES JUANELO TURRIANO DE HISTORIA DE LA INGENIERÍA

De Re Metallica: Ingeniería, hierro y arquitectura

Pedro Navascués Palacio y Bernardo Revuelta Pol, coordinadores



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

LECCIONES JUANELO TURRIANO DE HISTORIA DE LA INGENIERÍA

De Re Metallica: Ingeniería, hierro y arquitectura

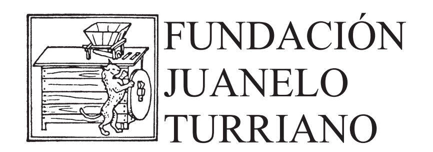
Pedro Navascués Palacio y Bernardo Revuelta Pol, coordinadores



DE RE METALLICA: INGENIERÍA, HIERRO Y ARQUITECTURA

Conferencias impartidas en el curso:
«*De Re Metallica*: Ingeniería, hierro y arquitectura», celebrado
en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (UPM)
del 14 al 17 de julio de 2015 y organizado por la Fundación Juanelo Turriano.
Curso coordinado por Pedro Navascués Palacio y Bernardo Revuelta Pol

2016



www.juaneloturriano.com

Revisión de textos:
Daniel Crespo Delgado

Documentación:
Begoña Sánchez-Aparicio García
Covadonga Álvarez-Quiñones del Gallego

Diseño, maquetación:
Ediciones del Umbral

ISBN: 978-84-945708-1-0

Cubierta
Estación de Bilbao. Fotografía de JEAN LAURENT. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Ruiz Vernacci. VN-03599.

PRESENTACIÓN

Con el título *De Re Metallica*, tomado del libro de Georg Bauer (1561) que se considera como la obra más importante sobre minería y metalurgia anterior al siglo XVIII, la Fundación Juanelo Turriano organizó en 2015 un curso celebrado en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid para reflexionar sobre lo que significó la aparición del hierro tanto para la arquitectura tradicional como para la nueva ingeniería. El hierro, como material auxiliar de la construcción, tiene antecedentes muy lejanos, pero fue a partir de la Revolución Industrial cuando tomó carta de naturaleza imponiéndose con su personalidad y transformando el arte de construir. A lo largo del siglo XIX, que bien pudiera interpretarse como una segunda Edad del Hierro, los avances tecnológicos de la siderurgia permitieron alcanzar metas desconocidas hasta entonces. El hierro y el acero, aliados a la industria, supusieron un desafío a la historia de la arquitectura que receló de su incorporación al arte de construir por su condición industrial, mientras que, por el contrario, la ingeniería encontró en estos materiales la solución para las nuevas exigencias de la sociedad moderna.

Sin embargo, lo que parecía llamado a perdurar en sus puentes, viaductos y estaciones, lo que un día fue orgullo de la industria en las célebres Exposiciones Universales, la vanidosa identificación del hierro con el progreso, sucumbió ante otro material como el hormigón que ofrecía nuevas ventajas al mundo de la ingeniería y de la arquitectura. No obstante el hierro dejó un rico patrimonio que ahora comenzamos a valorar en su verdadera dimensión.

Las conferencias de carácter general recogidas en esta publicación, centradas en los aspectos históricos y patrimoniales de las obras en hierro, se complementan con otras donde se describen ejemplos singulares, tanto por sus características como por haber sido objeto de recientes trabajos de recuperación y rehabilitación, siendo analizados por los ingenieros y arquitectos responsables de dichas actuaciones.

ÍNDICE

1

Ingeniería, hierro y arquitectura en el siglo XIX 11

PEDRO NAVASCUÉS PALACIO

2

Puentes colgantes y viaductos ferroviarios 43

LEONARDO FERNÁNDEZ TROYANO

3

El Patrimonio arquitectónico de estructura metálica vista
en España. Situación, protección, conservación 63

ALFONSO MUÑOZ COSME

4

El puente de hierro sobre el río Ebro en Logroño 75

BEGOÑA ARRÚE UGARTE

5

Tres hitos del hierro en la Ría de Bilbao.
El puente de Udondo, el muelle de Portugalete
y el puente transbordador Vizcaya 87

JOAQUÍN CÁRCAMO MARTÍNEZ e IÑAKI URIARTE PALACIOS

6

Gustave Eiffel (1832-1923) 101

JAVIER MANTEROLA

7

Los transbordadores de Leonardo Torres Quevedo.
Un análisis de estructuras semejantes 115

JOSÉ MIGUEL ÁVILA JALVO

8

Michel de Bergue, Josep Maria Cornet i Mas,
Joan Torras Guardiola. Tres pioneros de
las estructuras metálicas en Cataluña 127

RAMON GRAUS

9

La restauración del «Cable Inglés» de Almería.
Cargadero de mineral El Alquife 141

RAMÓN DE TORRES LÓPEZ

10

El primer depósito elevado del Canal de Isabel II 153

ANTONIO LOPERA

PUBLICACIONES DE LA FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO 170

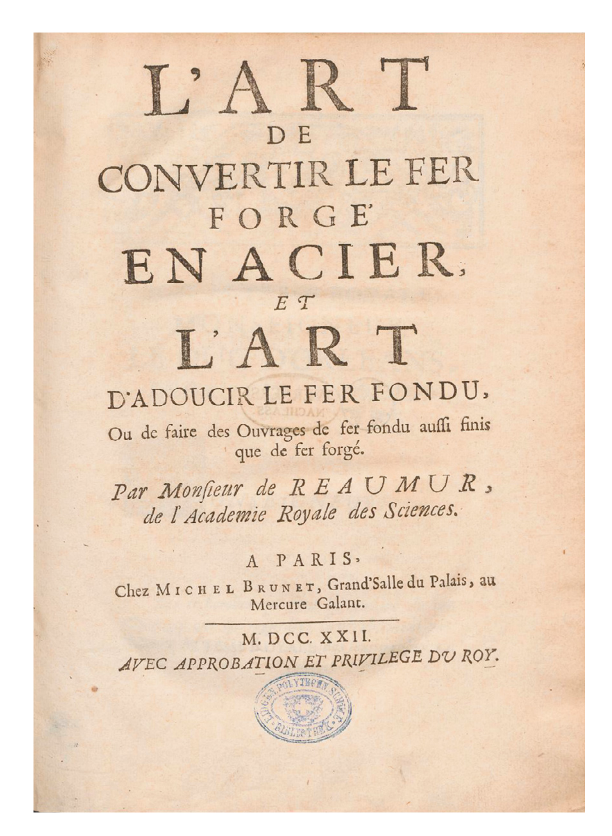
1
Ingeniería, hierro y arquitectura en el siglo XIX

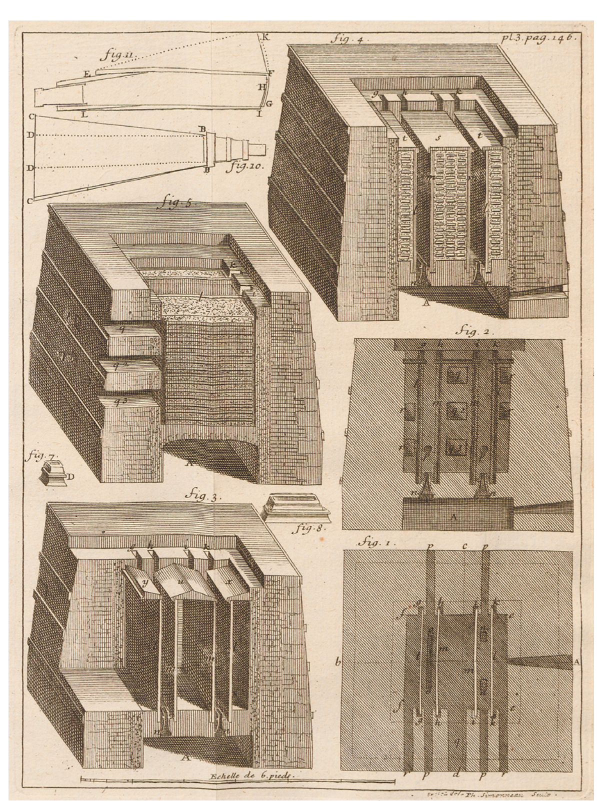
PEDRO NAVASCUÉS PALACIO
Académico de BB.AA.
Catedrático emérito de la UPM

ENTRE CIENCIA Y EXPERIENCIA

La presencia del hierro y del acero en la historia de la construcción tiene antecedentes lejanos pero su papel en este ámbito tuvo un alcance muy limitado y auxiliar hasta el siglo XVIII. Aun cuando Inglaterra aventajaba a Francia en todo lo referente a la industria del hierro, resulta pedagógico recordar lo que sucedió en el medio académico y científico francés, en torno a la Real Academia de Ciencias de París. Esta se interesó a través de sus miembros por las características del mineral de hierro, haciéndolo objeto de observación y estudios, donde destacan los nombres de René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), Étienne Jean Bouchu (1714-1773) y Georges Louis Leclerc (1707-1788), conde de Buffon. A Réaumur, habitualmente identificado con el termómetro de alcohol y con la escala de temperatura que llevan su nombre, se debe la temprana obra de *L'art de convertir le fer forgé en acier, et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé* (1722), por la que se le considera el padre de la industria metalúrgica en Francia.

Por otro lado, el propio Réaumur venía preparando desde 1708 la publicación de las *Descriptions des arts et métiers faites ou approuvées par Messieurs de l'Académie royale des sciences*, que tardaría muchos años en editarse, pero cuyos textos y planchas fueron aprovechados, en parte, por la monumental obra de Diderot y D'Alembert, la célebre *Enciclopedia* o *Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* (1751-1772), que difundió, entre otros, los nuevos procedimientos técnicos para la obtención del hierro y del acero. Los artículos relacionados con estos materiales de las *Descriptions des arts et métiers* y los de la *Enciclopedia* los redactó el mencionado Bouchu, «*maître des forges à Veuxsaules*», quien escribió allí que «*La manufacture du fer, le plus nécessaire de tous les*

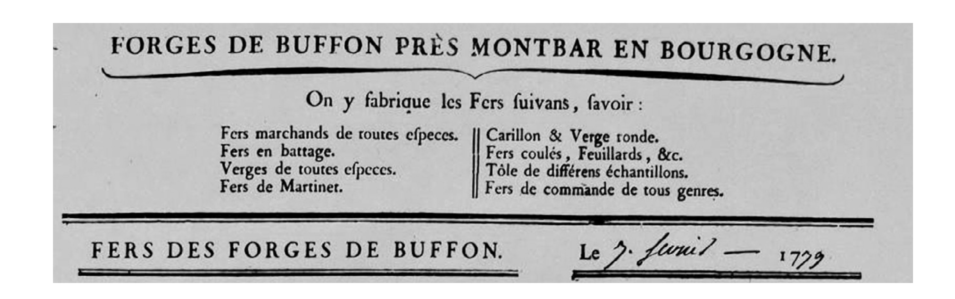

L'ART
DE
CONVERTIR LE FER
FORGÉ
EN ACIER,
ET
L'ART
D'ADOUCIR LE FER FONDU,
Ou de faire des Ouvrages de fer fondu auſſi finis
que de fer forgé.
Par Monſieur de REAUMUR,
de l'Academie Royale des Sciences.
A PARIS,
Chez MICHEL BRUNET, Grand'Salle du Palais, au
Mercure Galant.
M. DCC. XXII.
AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.



FIGS. 1 y 2 RENÉ-ANTOINE FERCHAULT DE RÉAMUR, *L'art de convertir le fer forgé en acier...* (París, Brunet, 1722). Portada y lámina 3 con la planta, sección y perspectivas de un alto horno para la obtención del acero.

métaux, a été jusqu'ici négligée...», poniendo al día cuantos conocimientos científicos y prácticos hacían progresar la fundición de este metal y sus posibilidades de uso, incluyendo los distintos tipos de hornos, sobre los que escribió, con el marqués de Courtivron, el *Art des forges et fourneaux à fer* (1762).

En este grupo de científicos que analizaron el proceso físico-químico para la obtención del hierro y del acero en sus distintas variedades, se encuentra el conde de Buffon, autor de la célebre y voluminosa *Histoire Naturelle, générale et particulière, avec la description du Cabinet du Roi*, publicada entre 1749 y 1788. No es este el lugar para comentar su aportación a la metalurgia del hierro, pero baste recordar que él mismo hizo experimentos en el lugar de Buffon, de cuyas tierras deriva su título nobiliario, en la rica región minera de Borgoña, la cuna del arte medieval, muy cerca de la abadía de Fontenay y no lejos de la de Vézelay, pero también en la región donde, más al sur, surgió la ciudad industrial de Le Creusot que dio nombre a la mayor compañía siderúrgica francesa de la segunda

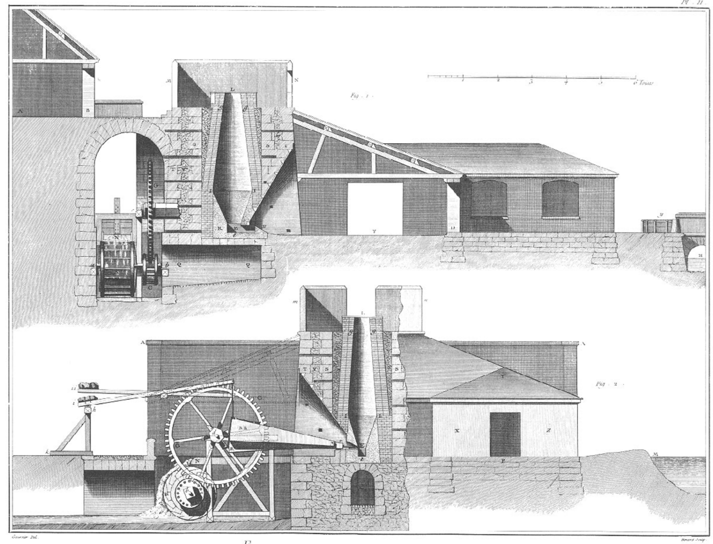

FORGES DE BUFFON PRÈS MONTBAR EN BOURGOGNE.
On y fabrique les Fers ſuivans, ſavoir :

Fers marchands de toutes eſpeces.	Carillon & Verge ronde.
Fers en battage.	Fers coulés, Feuillards, &c.
Verges de toutes eſpeces.	Tôle de différens échantillons.
Fers de Martinet.	Fers de commande de tous genres.

FERS DES FORGES DE BUFFON. Le 7. Juin — 1779

FIG. 3 Encabezamiento del impreso para pedidos y envíos de diversos tipos de hierros fabricados en las Forges de Buffon, Côte-d'Or, Francia.





FIGS. 4 y 5 Izquierda: saetín que toma el agua del río Armançon para mover la rueda hidráulica que acciona el fuelle del alto horno. Forges de Buffon, Côte-d'Or, Francia. Derecha: Dos secciones de un alto horno con la rueda que acciona el fuelle del alto horno, de la *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné...* (1751-1772), «Forges ou art du fer» (Segunda sección), planche II.

mitad del siglo XIX. Allí, decimos, el conde de Buffon tenía sus propias forjas o herrerías. A ellas se refiere en las adiciones que acompañan al tomo primero de su *Historia natural, general y particular* que, en la traducción de José Clavijo (Madrid, 1785), dice: «En una mina de hierro en grano, cerca de Etivey, a tres leguas de mis ferrerías de Buffon...». En efecto, tenemos noticias de estas forjas del naturalista francés y de las minas de su entorno que las surtían, como la citada de Etivey, por la correspondencia mantenida en 1784 con el abogado Chardonnet en un litigio sobre derechos de explotación de esta y otras minas de hierro en las cercanías de sus forjas (*Correspondance de Buffon*, édition électronique, Lettre L516. Inédite. Bibliothèque de Dijon, fonds Baudot.) En los conocidos talleres metalúrgicos del condado de Buffon experimentaron distintos científicos de la Academia de Ciencias como fue Laplace, quien propuso un método para convertir el hierro en acero «comparable al de Inglaterra», sin apenas aumentar el coste de su obtención, conociéndose el informe «*ordenné par le gouvernement pour constater l'effet du secret de M. de la Place*» para la mejora de los hierros, como detalla la *Encyclopédie méthodique* [Panckoucke], en su segundo volumen (París, Hôtel de Thou, 1783, p. 733).

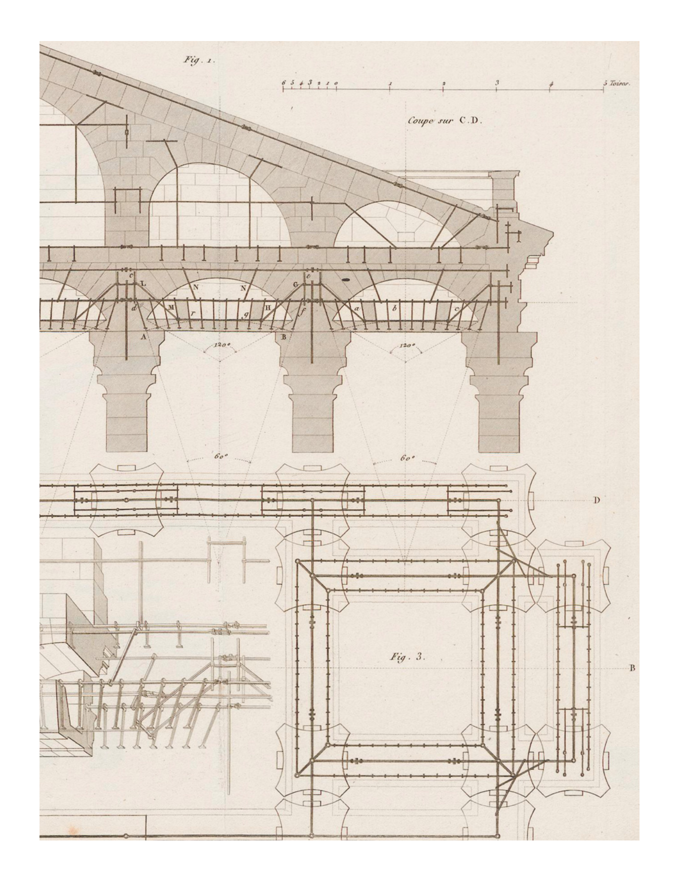
En el lugar de Buffon (Montbard) todavía se puede visitar la llamada «Grande Forge», donde se conserva buena parte de aquellas instalaciones en las que la fundición del hierro representaba, desde 1769, el punto culminante de esta suerte de milagro técnico, cuyo espectáculo podía verse desde lo alto tras subir por una escalera de doble arranque de tono palaciego. Todo un símbolo del espíritu de la Ilustración. Este proceso del creciente conocimiento de la naturaleza del hierro y del acero tiene, a nuestro juicio, un curioso epílogo en la Francia revolucionaria, en el opúsculo firmado por Alexandre-Théophile Vandermonde, Gaspard Monge y Claude-Louis Bertholet y publicado por orden del Comité de Salud Pública, cuyo título es *Avis aux ouvriers en fer, sur la fabrication de l'acier* (1793). El hecho de haberse editado en la imprenta del Departamento de la Guerra advierte sobre el carácter bélico de su propósito: «Nos falta el acero, el acero que debe

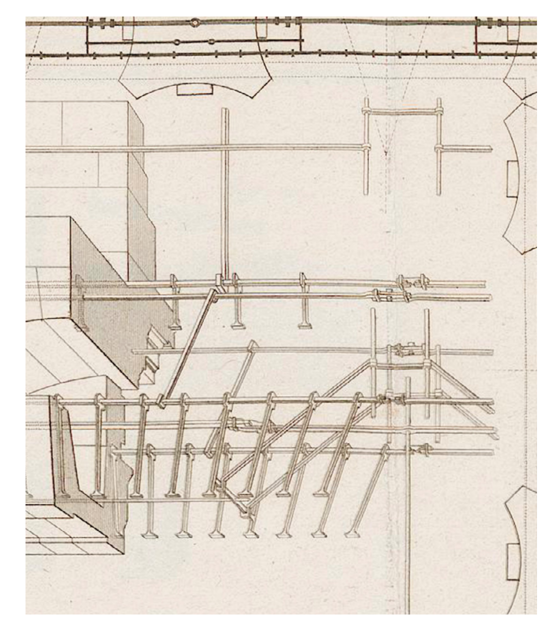
servir para fabricar armas de las que cada ciudadano debe valerse para terminar la lucha de la libertad contra la esclavitud…». Hasta entonces Inglaterra y Alemania habían proporcionado el acero que Francia precisaba, pero con la Revolución quedó en suspenso su comercio y la Convención hacía una peculiar llamada patriótica a los obreros con un extenso texto sobre la producción del acero acompañada de cuatro láminas explicativas verdaderamente magníficas, con el detalle de los hornos, como obra que procede de la *Enciclopedia* de la que son deudores los autores de esta llamada para fabricar armas, fundamentalmente sables y bayonetas.

Con este último dato deseamos subrayar que todo el esfuerzo hecho en el campo de la metalurgia y siderurgia finaliza, al margen de la fabricación de anclas y cañones, con la elaboración de las sutiles herramientas ligeras para todos los oficios imaginables. En la referida traducción de Buffon hecha por Clavijo, dice este en su prólogo que «en el Bronce, el Hierro y el Acero hallan las Artes todos sus instrumentos y utensilios: armas ofensivas y defensivas para la guerra; el ciudadano la seguridad de su habitación; y el labrador la reja con que surca la tierra, y la hoz que corta las mieses, digna recompensa de sus sudores». Todo un mundo que fue generosamente ilustrado por las planchas de la *Enciclopedia* [Travail du fer] pero sin la menor mención de su posible aplicación a la arquitectura, a la construcción o a la ingeniería. Todas las herramientas del grabador o del carpintero, sí, buriles y garlopas, pero ni un solo puente, y, sin embargo, en Inglaterra ya se había construido el célebre Iron Bridge sobre el río Severn que, con sus cien pies de luz, funcionaba desde 1781: el heraldo de la Revolución Industrial.

Dos años más tarde Vincent de Montpetit daba a conocer su *Prospectus ou Mémoire sur l'emploi que l'on peut faire de ce metal pour construire un pont d'une seule arche*, de cuatrocientos pies de luz, en hierro, del que se hizo un modelo en 1779 para exponerlo en la sala de la asamblea de la Real Academia de Ciencias, donde estuvo cuatro meses. Del proyecto solo se hizo aquel modelo a escala y un magnífico grabado que ilustra el texto sobre el hierro del segundo volumen de la *Enciclopédie méthodique, ou par ordre de matières: Arts et métiers mécaniques* [Panckoucke], de 1783.

Es cierto que la arquitectura francesa había conocido algunas experiencias aisladas para acercar el hierro a la construcción, de lo cual dejó constancia escrita el arquitecto Pierre Patte (1723-1814) en sus *Mémoires sur les objets les plus importans de l'architecture* (1769), en las que, además de recoger las experiencias de Buffon en relación con la resistencia del hierro, ofrece algunos ejemplos de arquitectura construida con auxilio metálico, como la fachada del Louvre de Perrault, la de San Sulpicio de Servandoni, y la del Hôtel o Ministerio de la Marina en la plaza de la Concordia, de A. J. Gabriel, en la capital francesa. En realidad, todo se reduce al empleo de barras de hierro para atar el plano de potentes columnas que componen una fachada adelantada e independiente del cuerpo de fábrica del edificio. Otros elementos menores de hierro servían para afianzar las dovelas de los arcos adintelados de piedra, pero sin componer nunca una estructura propia, sino simplemente piezas metálicas aisladas salidas de modestas forjas y ferrerías de París. En la misma línea se encuentra, y es el ejemplo más repetidamente citado, la iglesia de Santa Genoveva, luego Panteón Francés (1764-1790), obra de Jacques-Germain Soufflot (1713-1780), terminada por Jean-Baptiste Rondelet y Maximilien Brébion (1716-1792). Rondelet (1734-1829) había publicado una *Mémoire historique sur le dôme du Panthéon*





FIGS. 6 y 7 JEAN-BAPTISTE RONDELET, «Armatures du portail de l'église de Sainte-Geneviève», *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. T. 7, planche CLI. Dibujo de A. BAUDRIMONT. París, Rondelet fils, 1830-1832.

français (1797) que recoge, no obstante, todo el proceso constructivo del edificio, desde los cimientos hasta la cúpula de remate, detallando algunas operaciones como la presencia del hierro en el pórtico y frontón de la fachada principal, con recursos que quedan ocultos a la vista y que empujan a entenderla como una solución en «piedra armada», si se permite la licencia.

Rondelet habla de anclas, cadenas de hierro horizontales, barras verticales, etcétera, recogiendo en la sexta lámina que acompaña al texto aquella serie de «*armatures de fers*» que vive en el interior de la masiva fábrica de piedra. Estos dibujos los desarrolló más tarde en la quinta y sexta edición de su *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, que editó simultáneamente entre 1827 y 1832 su hijo Antoine, también arquitecto, introduciendo importantes correcciones y adiciones.

Esta misma obra se convierte en la mejor introducción hacia el origen del hierro en la construcción, habida cuenta que dedica una parte del Libro VII al «Empleo del hierro en los edificios» (p. 279 y ss.), una de las primeras relaciones escritas con carácter histórico que reconoce e ilustra el protagonismo de Inglaterra en el campo de la construcción en hierro. En este sentido, Rondelet señala con rotundidad y orden el citado Iron Bridge, sobre el río Severn en Coalbrookdale (1779), «proyectado y ejecutado por dos célebres maestros de forja, John Wilkinson y Abraham Darby», sin mencionar al arquitecto Thomas Farnolls Pritchard. Del puente queda un interesante modelo de 1787 que Abraham Darby presentó en la Royal Society of Arts (Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce), y por el que alcanzó una medalla de oro en los premios de estímulo en el área de *mechanicks*: «*To Mr Abraham Darby the Gold Medal, for presenting a Model of the Iron Bridge over the Severn, near Coalbrook*



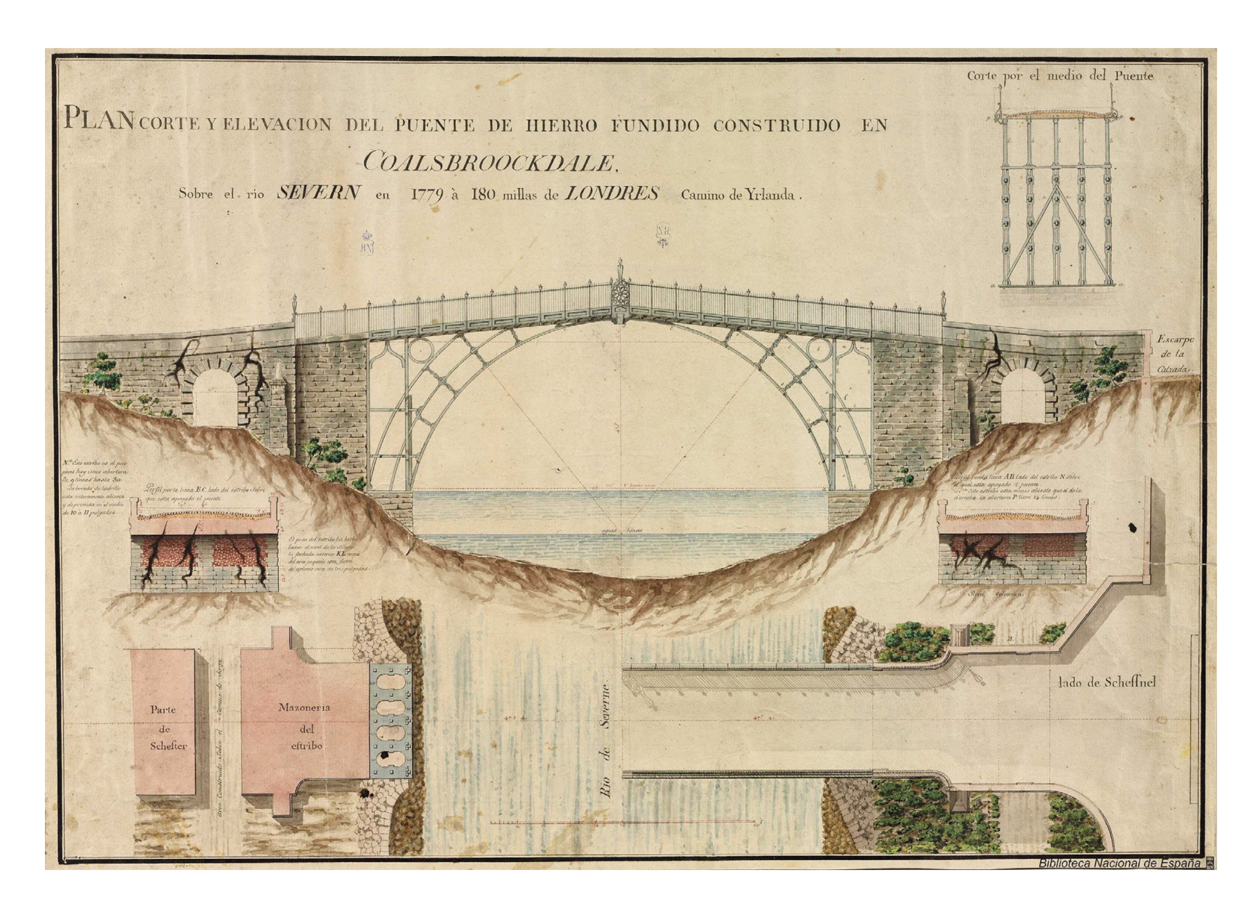
FIG. 8 Iron Bridge, Coalbrookdale, 1779. Modelo de THOMAS GREGORY, 1787. Science Museum. Object No. 1882-29. © Royal Society of Arts.

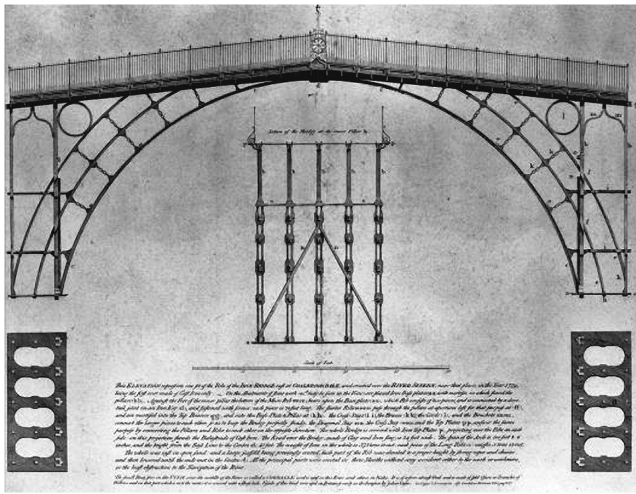
Dale» (*Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce*, vol. 6, 1788, p. 219).

De este puente se conserva en la Biblioteca Nacional de España un antiguo e interesante dibujo con los daños producidos por el hundimiento del terreno en ambas orillas del río Severn que afectan a la fábrica de piedra y ladrillo de los dos estribos. Estos conocieron distintos reparos entre 1784 y 1792, hasta que en 1802 se decidió sustituir el estribo del lado sur por dos pasos de madera que, posteriormente, se harían en hierro tal y como hoy los vemos. Se trata de un documento excepcional para conocer el estado del puente en los primeros momentos de su ruina parcial, habiendo pasado prácticamente desapercibido por cuantos han escrito y restaurado el puente de Coalbrookdale.

El dibujo de Madrid incorpora una copia de la parte metálica del puente, según el grabado que publicó en 1782 el editor londinense James Phillips, quien lo imprimió en George-Yard, Lombard Street, de cuyas prensas salieron obras tan singulares como *An abstract of the evidence delivered before a select Committee of the House of Commons in the years 1790, and 1791; on the part of the petitioners for the abolition of the slave-trade* (Londres, 1791), libro escalofriante con unos grabados que contribuyeron al movimiento abolicionista. El dibujo «madrileño» del puente es una copia al pie de la letra del citado grabado inglés, pues las letras y números que lleva repiten los números y letras del grabado original para identificar cada una de las partes del puente en el texto que le acompaña. Por el contrario, al dibujo de nuestra Biblioteca Nacional, llevando tales números y letras, le falta la leyenda explicativa, con lo cual pierden su sentido pero, en cambio, añaden interesantes textos sobre las partes de fábrica.

Esto, unido a otras cuestiones puntuales, nos lleva a preguntar por el origen y destino de este dibujo en las colecciones españolas. En el Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro que dirigió Agustín de Betancourt, figuraba con el número 96 del *Catálogo* manuscrito que se conserva en la Biblioteca del Palacio Real de Madrid, un «Plano de un Puente de hierro de un solo arco semicircular de 65 pies de diámetro [sic], executado en Inglaterra sobre el Río Severn a 180 millas de Londres en el Camino de Irlanda». El dibujo de la BNE, si no es el mismo, debe estar emparentado con el del Gabinete de Máquinas, pues la mención expresa a las «180 millas de Londres Camino de Yrlanda», parece indicarlo. Algunos autores han atribuido, sin pruebas, este dibujo a Betancourt, pues, como mucho, lo que pudo hacer Betancourt es encargar una copia de un original perdido que, a su vez, tomaba el grabado editado por Phillips y añadía el estado de los estribos con sus alzados, plantas y secciones que no aparecen en la larga iconografía conocida del puente. El dibujo lo pudo hacer un francés si hacemos caso tanto a la expresión escrita en tinta roja de las «*hautes eaux*», para señalar la altura máxima alcanzada por el





FIGS. 9 y 10 Arriba: «Plan corte y elevación del puente de hierro fundido construido en Coalsbroockdale [sic] sobre el río Severn en 1779 à 180 millas de Londres Camino de Yrlanda». Dibujo anónimo atribuido por algunos autores a AGUSTÍN DE BETANCOURT. Biblioteca Nacional de España. Dib/14/45/18. 416 x 593 mm. Derecha: «This ELEVATION represents one set of the Ribs of the IRON BRIDGE cast at COALBROOKDALE... Published as the act 1782, by James Phillips, in George Yard, Lombard Street». Ese mismo año y el mismo editor estampó una vista del puente («Cast Iron Bridge near Coalbrook Dale») con estos datos al pie: «Drawn by M. A. Rooker», «Engraved by Wm. Ellis», «London, Published as the Act directs, 4th June 1782, by Jas. Phillips, George Yard, Lombard Street», invitando a pensar que el artífice del primer grabado pudo ser el mismo WILLIAM ELLIS.

caudal del río, sobre el nivel de las «aguas baxas» como por el nombre de Severne (Sèverne) que responde en francés al Severn. Extraña sobremanera la ausencia de una escala gráfica o numérica.

Lo interesante de este dibujo es que se trata del único que nos muestra el puente dañado, después de las románticas imágenes que nos dejaron el pintor William Williams (*The Cast Iron Bridge near Coalbrookdale*, Ironbridge Gorge Museum Trust), en 1780, y el grabador londinense William Ellis, en 1782 (*Cast Iron Bridge near Coalbrook Dale*). Este, a su vez, utilizó los dibujos hechos por el escenógrafo Michael Angelo Rooker, llegando a grabar algunos detalles del puente, como la sección y la plataforma o placa de



FIG. 11 «Perspective View of Design for a Cast Iron Bridge, consisting of a single Arch Six Hundred feet in the span, and calculated to supply the place of the present London Bridge, by Telford and I. Douglas», dibujo de T. MALTON, grabado por W. LOWRY, 1801.

espera de los distintos arcos, que otros artistas, como Dubourg (*The Cast Iron Bridge over the River Severn near Coalbrookdale*) en 1823, aprovecharon para incorporar a su particular vista del puente. Poco más tarde Rondelet también recogería estos detalles (Rondelet, ob. cit., tomo 7, lámina CLVII).

A los franceses siempre les interesó este puente, que visitaron colegiadamente selectos grupos de viajeros, según leemos en los *Voyages dans la Grande-Bretagne entrepris relativement aux services publics de la guerre, de la marine et des ponts et chaussées*, del conocido ingeniero y político Charles Dupin. La obra, publicada en París (Bachelier, 1825-1826), dedica el tercer capítulo a los «Ponts en fer», donde se lee: «*Ils sont très-multipliés en Anglaterre, et dès 1779, que fut faite la première construction de ce genre, à Coalbrookdale, sur la Séverne...*» (p. 259).

Pero volviendo a Rondelet veremos que después del Iron Bridge menciona el desaparecido puente de Thomas Telford, también sobre el Severn, cerca de la antigua abadía cisterciense de Buildwas, construido por la Coalbrookdale Company (1795) y con una luz de 130 pies. A estos puentes de hierro de un solo arco seguirían otros dentro del siglo XVIII, como el también desaparecido de Sunderland (1793-1796), sobre el río Wear, de 236 pies, de Rowland Burdon, alcanzando el cambio de siglo con el proyectado por Telford y Douglas para sustituir sobre el Támesis el de Londres (1801), con un solo vano de 600 pies que no se llegó a construir.

Esta serie de obras hizo reconocer a Quatremère de Quincy en su *Dictionnaire historique d'architecture*, (París, Librairie d'Adrien Le Clere et Cie., 1832, T. II, p. 275), que se debía «a Inglaterra la introducción de un nuevo procedimiento en el arte de construir puentes... procedimiento que tiene muy poco que ver con la arquitectura... Los puentes de hierro.», repitiendo así lo escrito por él mismo años atrás en la *Encyclopédie méthodique. Architecture* (París, Agasse, 1825, T. III, p. 167).

Rondelet, Quatremére y cuantos desde Francia han escrito sobre sus puentes en hierro señalan como punto de partida el Puente del Louvre, más conocido como Pont des Arts (1801-1803), sobre el Sena, formado por nueve arcos de 59 pies, diseñado y construido por Louis-Alexandre de Cessart (1719-1806) y Jacques Lacroix-Dillon (1760-1807), de cuyo proyecto original queda un interesante modelo en el Museo Carnavalet de París. Al lado de los puentes anteriormente citados este resulta una modesta pasarela peatonal en hierro sobre vigorosas pilas de piedra, hoy muy alterada, pero con personalidad suficiente para figurar en los anales de los puentes de hierro. Con esta obra puede decirse que comienza un siglo XIX en el que el puente, como respuesta al vano natural, se convertirá en el banco de pruebas de las estructuras metálicas en orden a la resistencia de los materiales y mejora de los aceros, buscando siempre salvar los grandes vanos con la mayor economía y el más apurado cálculo. Puentes colgantes, puentes fijos, puentes giratorios, basculantes, viaductos, etcétera, con sus características propias, sus autores, constructores, sistemas, modelos, denominaciones, materiales, talleres, peculiaridades y demás circunstancias para vencer los problemas de un determinado medio físico, forman uno de los capítulos más apasionantes de la construcción en hierro del siglo XIX, con mucho de aventura a lo Julio Verne, de prueba y error, de inventiva, de búsqueda, de talento.



FIG. 12 CESSART y LACROIX-DILLON. Modelo de uno de los arcos del Pont des Arts (1801-1803). Madera y metal dorado. Alt. 62 x largo 101,5 x ancho 96,5 cm. Museo Carnavalet, París.

La casuística de los puentes metálicos desborda los límites de estas líneas –remitimos al lector a los trabajos que se incluyen en la presente obra sobre los puentes debidos a los profesores Leonardo Fernández Troyano, Iñaki Uriarte y Begoña Arrúe, así como a la bibliografía citada al final–, pero desearía dejar constancia de las nuevas posibilidades abiertas por las soluciones estandarizadas derivadas de un proceso industrial de tal modo que un puente concebido en y para París, sobre el río Sena, como el desaparecido puente del Carrousel, podía ser reproducido en Sevilla sobre el río Guadalquivir, como es el caso del puente de Triana. Así como la arquitectura tuvo una estrecha concordancia con el medio urbano, estas obras de ingeniería, con un material deslocalizado como el hierro, permitían repetir idéntica solución en climas, paisajes y lugares tan distintos como París y Sevilla. Todo cuanto sucedió con el puente de Triana resulta ejemplar de los cambios producidos en esta centuria, comenzando por el rechazo mismo de un puente de fábrica diseñado por Silvestre Pérez para Sevilla en favor de uno de hierro. El puente de Triana que une Sevilla con el barrio de Triana, se llamó de Isabel II y ello fija en la memoria que fue durante su reinado (1833-1868) el momento en que el hierro tomó carta de naturaleza en España a través de las obras públicas (puentes, estaciones de ferrocarril, faros) y de mejoras de los servicios municipales (mercados, quioscos de música, etc.).

HACIA UNA SEGUNDA EDAD DEL HIERRO

La Revolución Industrial se identificó con el hierro y el carbón como metáforas oscuras de un progreso brillante y todos entendieron el alto valor del hierro llegando a compararlo con el del oro, como si este fuera el patrón de los metales. Buffon había afirmado ya en su *Historia Natural*, en el libro dedicado a los cuadrúpedos, que el hierro era más necesario que el oro, pues no siendo un metal precioso sí que lo era su utilidad. En las *Memorias instructivas, útiles y curiosas, sobre agricultura, comercio, industria, economía, medicina, química, botánica, historia natural... sacadas de las mejores obras que hasta aquí han publicado las Reales Academias y Sociedades de Francia, Inglaterra, Italia, Alemania, Prusia y Suecia* (Madrid, 1785), cuya compilación y traducción debemos a Miguel Gerónimo Suárez, se dice en el capítulo del tomo XI dedicado a los trabajos sobre las minas de hierro que: «El hierro es quizás el metal más precioso por razón de lo útil que es a la sociedad». Es decir, la identificación del hierro con la utilidad y el progreso sería la puerta de entrada hacia las grandes realizaciones del siglo XIX en el campo de la construcción, siglo que significó una nueva edad de hierro cuya modernidad se imponía sobre el pasado de un modo casi violento.

El barón Haussmann, el artífice de la nueva ciudad de París, recoge una anécdota muy expresiva de esta nueva situación en relación con el Mercado Central de París, los célebres pabellones de las conocidas y destruidas Halles proyectadas por Baltard (1851). Este arquitecto había hecho un primer proyecto de fábrica tradicional, en piedra, y habiendo construido el primero de los pabellones no gustó nada la obra a Napoleón III, que suspendió de inmediato los trabajos e inició un nuevo proceso concursal, pues entonces el emperador se sentía atraído por la ligereza de los «paraguas» de la arquitectura en hierro y vidrio, concretamente por la montera de hierro y vidrio que iluminaba el interior de la recién inaugurada Estación del Este, de París.

Haussmann confiesa que se sintió abrumado por esta decisión del emperador, máxime cuando veía en Baltard al antiguo condiscípulo suyo en el Colegio de Enrique IV, en el que Haussmann entró cuando Baltard terminaba sus estudios. Abierto el nuevo concurso

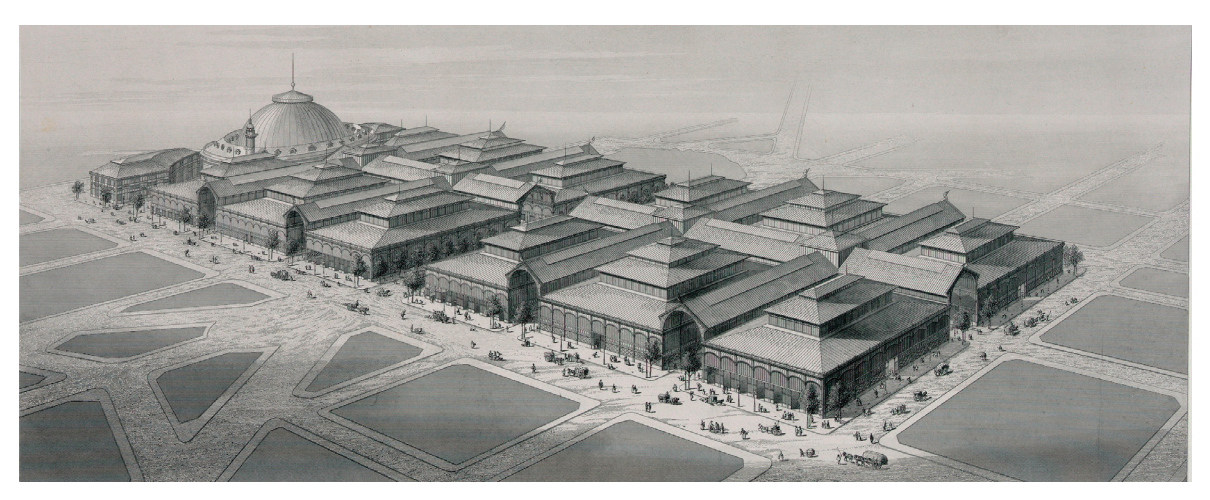


FIG. 13 «Halles centrales de Paris. Vue perspective à vol d'oiseau», primera ilustración de la *Monographie des Halles centrales de Paris, construites sous le règne de Napoléon III et sous l'administration de M. le B[ar]on Haussmann, sénateur, préfet du département de la Seine*, por VICTOR BALTARD y FÉLIX CALLET. París, A. Morel, 1863.

para Les Halles y deseando ayudarle le dijo Haussmann a Baltard que le hiciera urgentemente un anteproyecto, pero «*Du fer, du fer, rien que du fer*» («de hierro, de hierro nada más que de hierro»). Luego añade Haussmann en sus *Memorias*: «¡El hierro! esto estaba bien para los ingenieros; pero ¿qué es lo que un arquitecto, 'un artista', tenía que hacer con este metal industrial? Él [por Baltard], un Grand-Prix de Rome, que tenía a gala no haberse permitido jamás introducir en sus proyectos el menor detalle que no pudiera justificarse... ¡Un elemento de construcción que ni Brunelleschi, ni Miguel Ángel, ni ningún otro maestro había empleado!» (*Mémoires du Baron Haussmann*. París, Victor-Havard, 1893, T. III, p. 480). Menos leído es el texto de la primera edición de *Les Halles Centrales de Paris construites sous le règne de Napoleon III, par V. Baltard & F. Callet, architectes* (París, A. Morel et Cie., 1862) que recoge la obra ejecutada hasta entonces, cuando aún solo se habían completado seis de los doce pabellones proyectados. Lo que ahora interesa señalar es la nueva actitud de Baltard, que reconoce que con el hierro se abría una nueva era, citando el puente Britannia, en Inglaterra, mientras que en Francia «*on couvre d'un parapluie de fer, aux Halles centrales, 20.000 mètres de superfice*», es decir, repitiendo la imagen del paraguas expresada por Napoleón III.

El conjunto de este mercado central de París resultaba para sus autores un «verdadero palacio de hierro de fundición y cristal, uniforme sin ser monótono, simple y elegante a la vez, de un atrevimiento insólito, pero sin excluir la solidez que es la primera condición de la arquitectura». En 1863 se publicaba la monografía de Les Halles, por la misma editorial parisina de Morel, con una amplia descripción, cálculos de resistencia, detalles constructivos, etcétera, cuyo texto suaviza las tensiones habidas en relación con el primer proyecto en piedra y el definitivo en hierro, ambos proyectados por Baltard con Callet, quien falleció en 1855. Su cuidadosa y detallada edición contribuyó a hacer de Les Halles el modelo a seguir por los mercados municipales de Francia y Europa, materializando en hierro un servicio municipal que contribuía a la mejora e higiene del abastecimiento de víveres a la población.

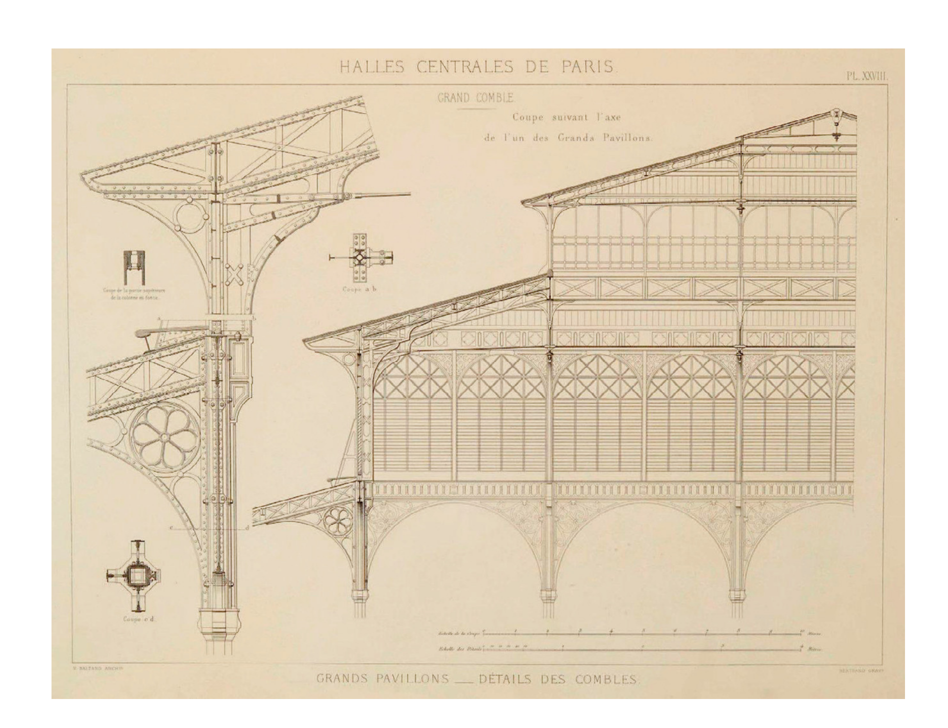


FIG. 14 *Monographie des Halles centrales de Paris construites sous le règne de Napoléon III et sous l'administration de M. le Baron Haussmann... par V. Baltard..., et... F. Callet, architectes.* París, A. Morel, 1863. (Pl. XXVIII).



FIG. 15 Construcción de los nuevos pabellones en hierro (izqda.) y derribo del primer pabellón en piedra de Les Halles (al fondo), todos proyectados por BALTARD. En el último plano la iglesia de San Eustaquio. "Embellisiments de Paris. Le nouveau pavillón des Halles centrales, vue prise de la rue de la Tonellerie". *Le Monde illustré* (París, 1 de diciembre de 1866).

El apoyo de Haussmann fue decisivo para la resolución del concurso a favor de Baltard, si bien el mercado central de París tuvo una corta vida pues, entre 1969 y 1973, se derribaron los distintos pabellones, reconstruyendo uno de ellos en Nogent-sur-Marne (1976) sin ninguna vinculación con la trama urbana en la que nació perdiendo así el acompañamiento de su arquitectura. Hoy permanece como un lugar de atracción turística en el que se celebran ferias y conciertos en medio de un parque, en las afueras de la ciudad que alimentó, como escribió Balzac en su novela *Le ventre de Paris* (1873), donde parece recoger el citado episodio de Baltard y el primer proyecto pétreo del mercado cuando uno de sus personajes, Claude Lantier, viendo la vecindad entre la iglesia tardo medieval de San Eustaquio y las modernas Halles en hierro, dice: «*Ceci tuera cela, le fer tuera la pierre, et les temps sont proches...*» («Esto matará aquello. El hierro matará la piedra, y los tiempos están cercanos...»). Lo cierto es que Balzac nos dejó algunos pasajes magníficos que revelan el choque que produjeron entonces aquellos férreos pabellones que «aparecían como una máquina moderna, fuera de toda medida, una especie de máquina de vapor, como una caldera destinada a la digestión de un pueblo, gigantesco vientre de metal, roblonado, remachado, hecho de madera, de vidrio y fundición, con la elegancia y potencia de un motor mecánico, funcionando con el calor de una caldera, y con el ruido ensordecedor y la marcha furiosa de sus ruedas».

Esta visión fagocitadora y mecánica, pero entusiasta, futurista, de la arquitectura del hierro tuvo, sin embargo, sus detractores y cabe traer aquí el testimonio menos convencido de otro gran novelista, Benito Pérez Galdós, que por aquellos años escribía en un diario progresista de Madrid sobre la hipotética construcción de una catedral en el Salón del Prado de Madrid, de la que «aún no se sabe si será gótica o bizantina; pero lo más probable es que se le dé la forma de los modernos palacios de cristal, empleando esa arquitectura de alambre y talco, hija legítima del siglo XIX, que ha perdido por lo visto la afición a levantar grandes masas de piedra como El Escorial; esa arquitectura de un día, que tan bien representa el espíritu de la actividad de nuestra época. Sustituyendo la ojiva gótica, la columna salomónica y el capitel corintio por la escueta pilastra de hierro fun-

dido en los talleres de Liverpool; sustituyendo las bóvedas de piedra por tinglados más o menos transparentes y armazones más o menos ligeros» (*La Nación*, 21 de septiembre de 1865).

Para esta fecha Madrid ya había solicitado a París proyectos para los nuevos mercados municipales. Llegaron algunos muy interesantes como el que envió en 1863 desde París el ingeniero y arquitecto Émile Trélat, que era entonces profesor en la École des Arts et Métiers, donde enseñaba la asignatura de Construcciones civiles, y futuro fundador y director de la Escuela Central de Arquitectura, de París (1865). Nada se hizo de este proyecto como tampoco se llevó a cabo el enviado más tarde por Hector Horeau para la madrileña plaza de la Cebada en el crítico año de 1868. La caída de Isabel II retrasó otros muchos proyectos análogos, como los que sobre el modelo de Les Halles se proyectaron por estas fechas para las plazas de la Cebada y de los Mostenses de Madrid, que no se levantarían hasta la Restauración, a partir de 1874. Todos los mercados españoles de este tipo se construyeron en el último cuarto de siglo, como los del Borne y San Antonio en Barcelona; el mercado de Alfonso XII o de las Atarazanas en Málaga; el mercado del Val en Valladolid; el de Abastos de Salamanca; el de Badajoz, hoy trasladado de lugar; el de La Esperanza en Santander, y un largo etcétera hasta llegar, ya en el siglo XX, al Mercado Central de Valencia con el que se cierra un capítulo en el que, en su evolución y mejoras, se pierde el más sencillo modelo e imagen de Les Halles de París.

Pero por aquellas fechas ya nadie dudaba del hierro como motor de la modernidad y de su utilidad en todos los ámbitos, lo cual hacía afirmar a un personaje de la novela de Nicolás Díaz y Pérez, *De Madrid a Lisboa*: «Yo, amigo Scott, llamo oro del porvenir al hierro, desde que la industria moderna y las artes útiles lo emplean en todo aquello que nos es útil en la vida» (Madrid, 1877). Entre aquellas utilidades se encontraba, sí, todo lo que tenía que ver con el mundo de las máquinas, de carácter industrial o de uso doméstico, con el amplio campo de la moderna ingeniería civil, sí, pero también con la arquitectura tradicional, donde el empleo del hierro interrumpió bruscamente su historia estilística para ser otra cosa distinta basada en la construcción misma con independencia de su semblante formal. Es aquí donde emerge con fuerza el nombre del norteamericano James Bogardus, pionero en el empleo del hierro en las estructuras arquitectónicas, cuyo rostro aparece formando parte de los *Men of Progress* (1862), junto a Samuel Morse (telégrafo eléctrico y código Morse), Charles Goodyear (vulcanización del caucho) o Elias Howe (máquina de coser), entre otros inventores y hombres que, en Norteamérica «*had altered the course of contemporary civilization*», como decía el encargo hecho por Jordan Mott (estufa de carbón) al pintor Christian Schussele, autor del referido lienzo *Men of Progress*, hoy en la National Portrait Gallery de Washington.

James Bogardus (1800-1874) fue un ejemplo muy característico de estos inventores, normalmente conocidos por su hallazgo más relevante, pero habitualmente hacedores de otras muchas cosas útiles de las que, una vez patentadas y comercializadas, producían buenos beneficios durante una serie de años. *La grande encyclopédie. Inventaire raisonné des sciences, des lettres et des arts* (París, H. Lamirault et Cie., 1885-1902) dirigida por Marcellin Berthelot y otros científicos, dedicó a James Bogardus un artículo recordando que era «el tipo de Americano legendario, sin instrucción primaria y sin profesión bien determinada, siempre en busca de algún producto o de algún aparato nuevo, aplicando



FIG. 16 CHRISTIAN SCHUSSELE. *Men of Progress* (1862). Óleo sobre lienzo, 128 x 190 cm. Washington, Smithsonian National Portrait Gallery. James Bogardus es el segundo por la izquierda.

sucesivamente su capacidad de invención a todas las ramas de la industria...» (T. 7, p. 63). Esta descripción, que es cierta para una buena parte de aquellos inventores cuyo genio les llevó a buscar cosas útiles para la vida y hacer mejor, más facil y económico el trabajo de todos los días, se cumplía en Bogardus que, inicialmente se dedicó al mundo del reloj, anunciándose a sí mismo, en 1823, como «*watchmaker and repairer*», luego vendrían la máquina para moler y mezclar (Eccentric Universal Mill), y, entre otras, la máquina para fijar los sellos a las cartas y otros documentos, patentada en Londres en 1839, según la noticia recogida en el *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale* (París, 1840, núm. 437, p. 445). Dicha Sociedad de fomento se fundó en París en 1801, siguiendo el modelo de la inglesa Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, fundada en Londres medio siglo antes, en 1754, con análogos fines de estímulo a la invención.

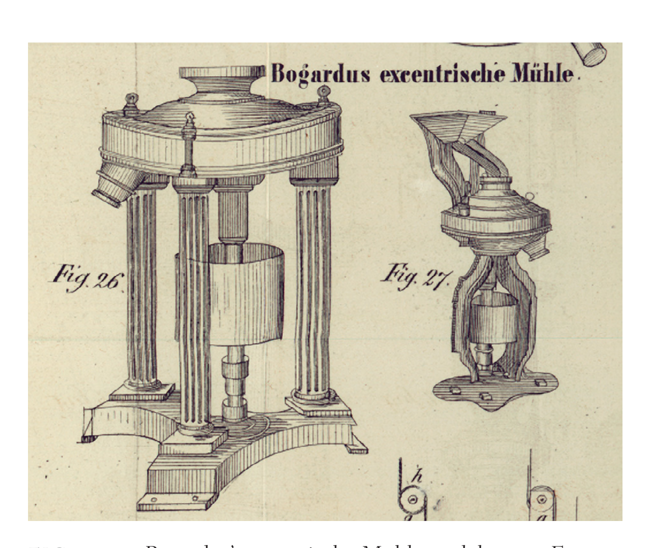


FIG. 17 «Bogardus' excentrische Mühle, welche zum Enthülsen, Zerschneiden und Mahlen dient», *Polytechnisches Journal* (Stuttgart y Tübingen, 1847, pp. 18-20), tomado a su vez de la *Mechanics' Magazine* (Londres, 1846, núm. 1198).

El hecho es que tras una estancia de cuatro años en Inglaterra, Bogardus regresó a América y se instaló en Man-

hattan como un artesano que pasó de «*watchmaker*» a «*machinist*», según se autodenominaba en 1842. Pero la fama de Bogardus deriva, sobre todo, de ser el autor del primer edificio completo de estructura metálica, no solo con la fachada en hierro fundido que él mismo hizo inicialmente, sino de todo el edificio, tal y como fue su desaparecida oficina y fábrica en Duane y Centre Streets, de Nueva York, terminada en 1849: «The first cast-iron house erected at New York». Las ventajas del empleo del hierro para soportes y forjados con piezas prefabricadas y estandarizadas, no solo lo eran en el terreno de la economía, reduciendo el tiempo de construcción y ensamblaje, así como la posibilidad de su reutilización al desmontar la estructura, sino que daba una desconocida diafanidad a los interiores, haciendo más sencilla su distribución en relación con los posibles usos. Pero, al tiempo, una de las ventajas más sensibles de los edificios de fundición y que Bogardus publicitó (*Cast-Iron Buildings, Their Construction and Advantages*, Nueva York, J.W. Harrison, 1856), era su resistencia al fuego, dadas las peculiaridades del original sistema de vigas para formar los forjados de las distintas plantas, observación más que pertinente después de los dos devastadores incendios que Nueva York había conocido en 1835 y 1842. El peligro del fuego se convirtió una vez más en acicate de la nueva arquitectura, y la Inglaterra que visitó Bogardus entre 1836 y 1840 acumulaba igualmente una larga experiencia de incendios. Así lo recoge el ingeniero escocés William Fairbairn (1789-1874) en su informe «On the construction of fireproof buildings», escrito en Mánchester en 1844, y publicado con un leve cambio en el título en el volumen XXXVIII de *The Edinburgh New Philosofical Journal, exhibiting a view of the Progressive Discoveries and Improvements in the Sciencies and the Arts*, dirigido por el gran naturalista y geólogo también escocés, Robert Jameson (1774-1854). Fairbairn iniciaba su informe así: «El grave alcance de los últimos incendios de Liverpool, Mánchester y otras grandes ciudades, ha inducido a preguntarnos por las causas de estos desastres, con objeto de detener su avance, y adoptar medidas para una mayor seguridad de los bienes, y prevenir estas calamidades tan dañinas tanto para el público en general como para los intereses particulares de los ciudadanos» (pp. 101-116).


APRIL 12, 1851. [SIXPENCE {WITH SUPPLEMENT, GRATIS.

...inistry; and the Protectionists have ...r that the policy of the late Sir Ro- ... purpose than to any other. When the Funds are at 96¾, he would rather pay a million or two borrowed when the Funds were

THE FIRST CAST-IRON HOUSE ERECTED AT NEW YORK.—(SEE NEXT PAGE.)

FIG. 18 «The first cast-iron house erected at New York», *The Illustrated London News* (12 de abril de 1851). Art and Picture Collection, The New York Public Library Digital.

A modo de paréntesis, la mención de Fairbairn es aquí obligada por ser uno de los primeros y más influyentes ingenieros que abordaron y experimentaron el uso del hierro y del acero tanto en edificios, como en barcos y puentes. Autor de obras tan conocidas como *On the application of Cast and Wrought Iron to Building Purposes*, publicada en Londres y Nueva York en el mismo año de 1854, y traducida inmediatamente a otros idio-



FIG. 19 Ingenieros británicos (de izquierda a derecha): John Penn (1805-1875), Joseph Whitworth (1803-1887), Robert Napier (1791-1876), y William Fairbairn (1789-1874), *ca.* 1870. Foto Hulton Archive/Getty Images.

mas, entre ellos al español por el ingeniero Eduardo Saavedra, en 1857. Este tradujo poco después la *Aplicación del hierro a las construcciones* del mismo Fairbairn, que venía a ser un complemento de la anterior, obra impresa en la redacción de la *Revista de Obras Públicas* (Madrid, 1859). Esta revista, a su vez, tradujo en sus páginas, en 1855, otro trabajo de Fairbairn sobre los «Puentes de vigas tubulares», aparecido previamente en el *Civil Engineer and Architect's Journal* (1852), partiendo de la experiencia del puente Britannia (1850), obra de Robert Stephenson y William Fairbairn, «*in an honourable and enduring association*», como señala el ingeniero Drysdale Dempsey en la introducción a su *Particularly describing the Britannia and Conway tubular bridges* (Londres, 1850). En relación con un episodio de la estabilidad del puente Britannia, Fairbairn llegó a escribir que este puente debiera considerarse «como un Monumento de utilidad de la empresa y energía de la era en la que se ha construido».

Si se comprueban las fechas de todas estas publicaciones se ve que casi todo gira en torno a 1850, pero se deben señalar algunas circunstancias a nuestro juicio importantes. La primera, de la que derivan las demás, sería el hecho de que este panorama forma parte de una corriente experimental que viene de muy atrás, por no remontarnos ahora al siglo XVIII, del que Fairbairn da cuenta en su *Iron, its history, properties, and processes of manufacture* (Edimburgo, 1861). Algunos trabajos del mismo Fairbairn, como las *Investigaciones experimentales sobre la aplicación del hierro fundido y forjado a las construcciones*, cuya primera edición data de 1854, responden a anteriores experiencias y como dice su autor en el párrafo inicial del prefacio, se había «esforzado en recopilar nuestro conocimiento práctico sobre la utilización del hierro, en combinación con otros materiales, en la construcción de edificios a prueba de fuego», y añade que recoge experiencias habidas en Leeds y Bradfors en 1824 y 1825, respectivamente, y las de Mánchester en colaboración con Eaton Hodgkinson. Es decir, se trata de investigaciones muy anteriores al año de la edición de la obra y, además, contando con la colaboración de Eaton Hodgkinson (1789-1861), excepcional matemático e ingeniero que se interesó por la resistencia de los materiales y muy especialmente por el comportamiento del hierro en sus distintas aplicaciones en el campo de las estructuras, como vigas, apoyos, puentes, etcétera. En 1831 ya había publicado en Mánchester su *Theoretical and experimental researches to ascertain the strength and best forms of iron beams*, y en aquella década de los años 30,

otros trabajos suyos, experimentos e informes encontraron sitio, por ejemplo, en las reuniones periódicas de la British Association for the Advancement of Sciencie, como la de 1837 en Liverpool, a la que también asistió su socio y colaborador Fairbairn. Este autor ya había hecho y publicado experimentos con estructuras metálicas a base de soportes y vigas de hierro, recogidos en sus *Investigaciones experimentales* de tal forma que nada extraño tiene el que Bogardus recogiera mucha información de lo visto en Inglaterra. Por entonces ya circulaban en las librerías inglesas como la Architectural Library, en el 59 de High Holbourn, obras de otros ingenieros sobre el hierro, como la que Thomas Tredgold dedicó a Thomas Teldford, el *Practical Essay on the Strength of Cast Iron, and Other Metals* (Londres, J. Taylor, 1824) para «*engineers, iron masters, architects, milwrights, founders, and others engaged in the construction of machines, buildings, etc.*». Todo ello representaba un mundo al que Bogardus no pudo cerrar los ojos y del que seguro se nutriría su mente y memoria.

JAMES BOGARDUS, C. E.,
ARCHITECT IN IRON,
ORIGINATOR, CONSTRUCTOR, AND PATENTEE
OF
IRON BUILDINGS,
Office, No. 207 Canal St., New York.

This Establishment offers unrivalled facilities to persons desirous of constructing
"IRON FIRE-PROOF BUILDINGS,"

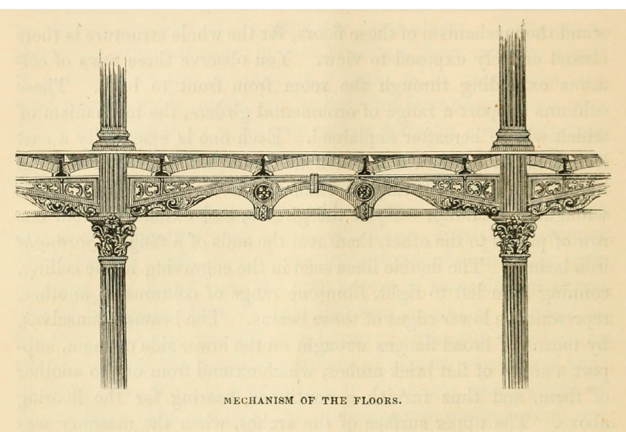
FIG. 20 Publicidad de James Bogardus, en la que se presenta como ingeniero civil, arquitecto en hierro, creador, constructor y propietario de la patente de los edificios en hierro. (*Express Office. Hand-book and Directory*, Nueva York, A. L. Stimson, 1860, p. 30).

Resulta curioso el breve texto que en *The Illustrated London News* (1851) acompaña al grabado en madera del primer edificio neoyorkino enteramente en hierro fundido, la mencionada y desaparecida Fábrica Bogardus en la esquina de Duane con Centre Street. El comentario comienza recordando que «aunque la construcción de casas en hierro tiene su origen en Inglaterra, parece que América ha cogido la delantera en este nuevo tipo de construcciones...», y termina citando algunos envíos que partiendo de Mánchester cruzaron el Atlántico en barco, como el material para dos grandes casas en California y



FIG. 21 331 de Pearl Street con el edificio de Harper & Brothers, obra de JAMES BOGARDUS y JOHN B. CORLIES, *ca.* 1870. Albumen print. Museum of the City of New York, X2010.11.2987.





FIGS. 22-24 CARL EMIL DOEPLER. Sección del edificio de Harper & Brothers y detalles de la estructura metálica. Del libro de JACOB ABBOTT, *The Harper Establishment; or, How the Story Books Are Made* (Nueva York, Harper & Brothers, 1855). The Metropolitan Museum of Art, Gift of Joseph B. Davis, 1942 (42.105.22).

un hotel en Porto de Natal, en Brasil. El anónimo autor comenta el gran número de casas que se estaban construyendo en Nueva York en hierro fundido, con una altura de setenta pies «*from the street pavement to the roof*», de bello diseño, fácil transporte y bajo precio pues este material costaba en Nueva York unas 26 libras la tonelada, es decir, menos de la mitad de lo que valía en Inglaterra.

Bogardus patentó su sistema de «*Iron buildings*» en 1850 y tan solo citaremos aquí una obra suya de 1856, desaparecida en 1925, que cuenta con una monografía escrita en los mismos días de su construcción, con una información de primera mano que proporciona muchas claves sobre estos primeros procesos de la construcción en hierro. Nos referimos al libro de Jacob Abbott sobre *The Harper Establishment; or, How the Story Books Are Made*, publicado en Nueva York por la propia editorial Harper & Brothers (1855). Allí se detallan tanto las características de su construcción, especialmente los forjados antiincendios, como el justo reconocimiento de sus autores, pues además de James Bogardus, que figura como ingeniero y constructor de la fachada en hierro, se mencionan a continuación los nombres de John B. Corlies, arquitecto y constructor; de James L. Jackson, inventor y constructor de las columnas y sofisticadas vigas metálicas sobre las que montan las bovedillas de fábrica; y Abram S. Hewitt, de la firma Cooper & Hewitt, donde se fabricó toda la estructura metálica. Esta y otras experiencias neoyorquinas análogas pesarían en la formulación del esqueleto de hierro de la Escuela de Chicago, tras el incendio de la ciudad en 1871.

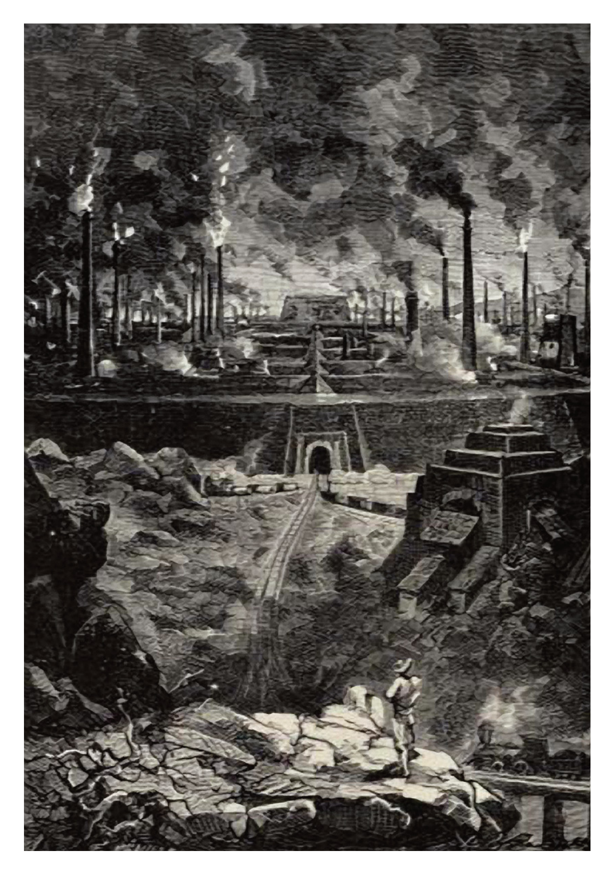
EL HIERRO Y EL ORO

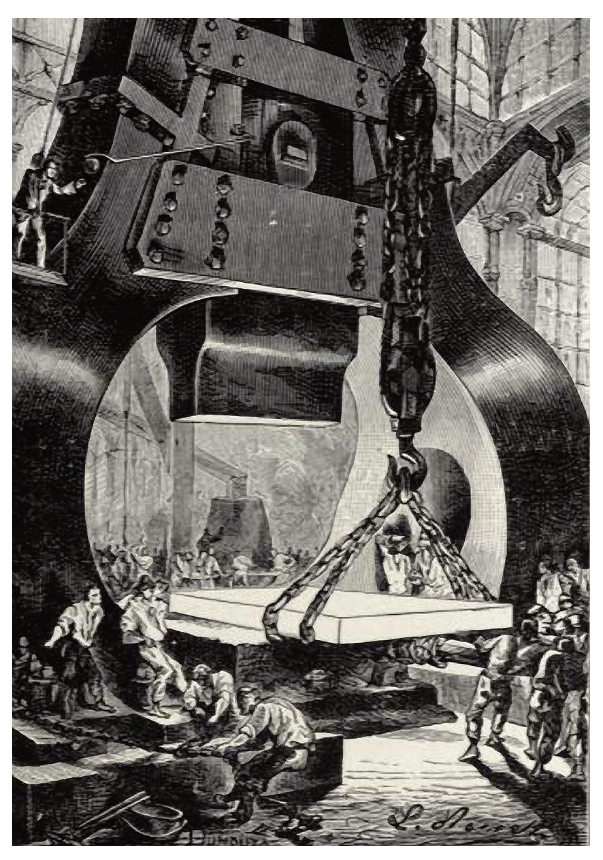
Ya se ha hecho mención más arriba a la relación entre el hierro y el oro, en sentido figurado claro está, a la que podríamos volver ahora con los versos del poeta Juan de Iriarte (1702-1771), que forman su noveno *Epigrama* con el título de «El hierro y el oro», donde escribe: «Mandan las cosas humanas, / a su arbitrio, el oro y hierro:/ y entre sí estos dos metales/ se dividen el imperio.» Efectivamente, el imperio fueron los beneficios obtenidos socialmente con la Revolución Industrial, pues en palabras del Premio Nobel de Economía 1995, Robert Emerson Lucas, aquella supuso un crecimiento inusitado del PIB, pues por «primera vez en la historia, el nivel de vida de las masas y de la gente común conoció un crecimiento sostenido… No hay nada remotamente parecido a este comportamiento de la economía en ningún momento del pasado…» (Robert E. Lucas, *Lectures on Economic Growth,* Cambridge, Harvard University Press, 2002, pp. 109-110). De todo aquel proceso, muy probablemente, la imagen inmediata más expresiva es todo lo relacionado con el hierro y a través de este su aplicación al mundo fabril y febril de las máquinas, ferrocarriles, estaciones, navegación, comercio, viaductos, puentes, etcétera, como soporte material de una nueva época dorada. Donde hubo hierro hubo progreso, donde hubo progreso hubo riqueza, donde hubo riqueza hubo poder, y del poder surgió el imperio en el sentido más amplio del término, si interpretamos correctamente los versos de Iriarte.

Pero el hecho de haber desaparecido prácticamente en Europa y América todos estos edificios en un imparable proceso general de autodestrucción y de poco aprecio hacia las construcciones metálicas, acosadas por el rápido éxito del hormigón, ha circunscrito el capítulo del hierro en el siglo XIX a unos cuantos ejemplos de tópica resonancia y efímera existencia, como el desaparecido Crystal Palace de Londres (1850) o la derribada Galería de Máquinas de Dutert y Contamin, de la Exposición Universal de París de 1889. De esta magna exposición solo resta la Torre Eiffel, asumiendo esta un justo protago-

nismo, pero favorecido también por la desaparición de las formidables estructuras férreas que se llegaron a levantar en esta etapa. La ausencia física de aquellos edificios en hierro concebidos para formar parte incluso del paisaje urbano, meramente civil y no solo industrial, aquellos edificios que un día formaron parte de un planteamiento utópico, hace que pasemos por el siglo XIX mirando al hierro y al acero circunscrito a las obras de ingeniería civil, fijando nuestra atención hacia los puentes, viaductos, estaciones de ferrocarril, etcétera. Pero no cabe olvidar que hubo un campo estrictamente arquitectónico, de fachadas a calles y plazas, que se alimentó de un ideal constructivo que llegó a conocerse como «arquitectura metalúrgica», uno de cuyos tempranos adalides fue el inventor, escritor, pensador y director del Museo de la Industria de Bruselas, Jean-Baptiste Jobard. Este escribió un interesante y brevísimo artículo en el *Mémorial encyclopédique et progressif des connaissances humaines* (París, 1841, núm. 121, pp. 105-107) bajo el doble título de «Architecture metallurgique. Maisons en fonte», que luego desdobló en dos llevándose cada uno una mitad de aquel. El primero fue para el *Journal des beaux-arts et de la littérature* (París, 1841, 28 de marzo, pp. 152-155) y el segundo para la *Revue générale de l'architecture et des travaux publics* (Paris, 1849, 8º vol., pp. 27-30) de muy amplia difusión dentro y fuera de Francia. Las reflexiones de Jobard forman parte de aquel caldo de cultivo que puso todas las esperanzas en una nueva y revolucionaria arquitectura del hierro, origen de toda la felicidad posible en una renovada visión constructiva de la arquitectura, material, estructural y no epidérmica, rompiendo con el proceso histórico y estilístico que hasta entonces había conocido. La utopía de Jobard, con algo también de visión a lo Julio Verne, proponía un nuevo hábitat partiendo de la premisa de que habiendo sido el ferrocarril el impulsor de la industria metalúrgica desde hacía cinco años había llegado ya el momento de hacer casas, puentes y barcos (véase el trabajo del profesor Antonio Lopera dedicado a las *Arquitecturas flotantes* publicado recientemente por la Fundación Juanelo Turriano, Madrid, 2016), en cuya tarea estaban trabajando Inglaterra y América, mientras que Francia se había quedado rezagada. Para Jobard había que fabricar casas de hierro fundido «más cómodas, más sólidas, más cálidas en invierno y frescas en verano» que las casas de ladrillo. Las casas hechas de fundición además de ser más baratas que las de fábrica tradicional tenían grandes ventajas en relación con los incendios, rayos, terremotos e inundaciones. Se ahorraba en su cimentación, sus materiales eran de fácil transporte y tenían la posibilidad de ser trasladadas de un lugar a otro. El temido óxido desaparecía después de la invención de la pintura galvánica, de tal modo que «las casas serán eternas y conservarán siempre su valor». Si por alguna razón se cansaban los propietarios de su estilo arquitectónico «*vous ferez refondre vos matériaux pour suivre les caprices du goût et de la mode*». En fin, si se quería una casa, a los ocho días de haberla encargado se fundían los materiales y ocho días más tarde era «transportada, montada y habitable». Por este camino se podrían transportar ciudades enteras y resultaba una solución muy práctica para la fundación de nuevas colonias.

La utopía de Jobard, que no dejaba de tener un punto de romántico y encendido manifiesto, adelantaba lo que en muy poco tiempo fue la construcción de edificios en hierro con los más variados destinos, al margen del carácter que exhibía la arquitectura industrial con sus estructuras metálicas. Así, surgieron iglesias, bibliotecas o museos con importantes y atrevidas estructuras en hierro visto pero envueltas, a su vez, en una caja de





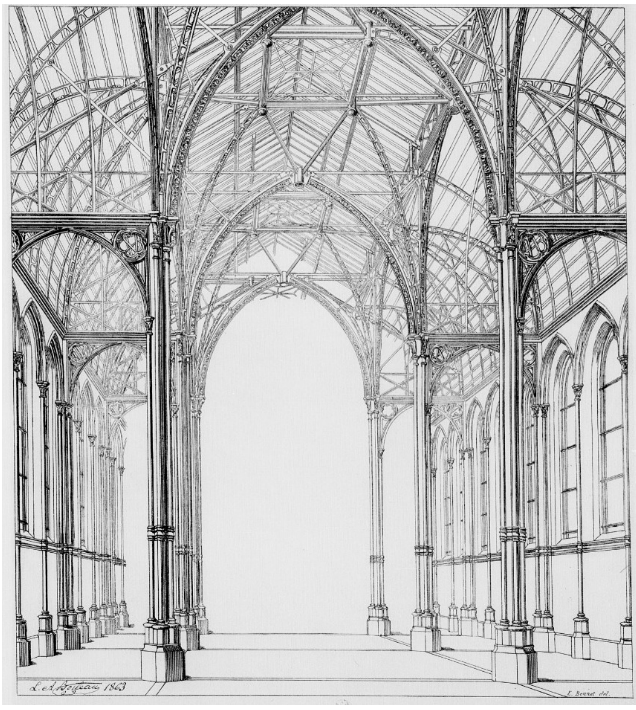
FIGS. 25 y 26 JULIO VERNE, *Les cinq cents millions de la Bégum* (1879), con ilustraciones de LÉON BENETT. Stahlstadt, la Ciudad del Acero e interior de los grandes talleres.

piedra en la que afloraba la historia estilística de la arquitectura, como también «en estilo» se resolvían los propios interiores. Cuando Julio Verne se casó en 1857 con Honorine Deviane Morel en la parroquia de San Eugenio de París, terminada de construir un año antes, debió de parecerle que la realidad superaba la ficción pues aquel templo era de hierro y parecía formar parte de su mundo novelado salido de los talleres donde el gran novelista describiría años después la novedad técnica del pudelaje del hierro como hizo en su formidable novela de *Les cinq cents millions de la Bégum* (1879).

Aquellos talleres de la Ciudad del Acero, de marcado carácter bélico al dedicar su industria pesada a la fabricación de cañones, estaba en materia y espíritu muy lejos de la iglesia de San Eugenio que, en hierro sí, destilaba una delicadeza más propia de la sensibilidad de France-Ville, la otra ciudad estadounidense que Verne contrapone a Stahlstadt.

El arquitecto de la parroquia parisina fue Louis-Auguste Boileau, quien proyectó un férreo esqueleto visto que, sin embargo, seguía las formas amables de la arquitectura gótica, aunque su comportamiento estructural nada tuviera que ver con la mecánica de un edificio medieval en piedra. Ello le valió fuertes críticas por parte de Viollet-le-Duc, dado el mimetismo del nuevo material respecto a los modelos medievales, y fue causa de una interesante controversia sobre la utilización del hierro en la construcción. Boileau «*père*», como él firmaba para diferenciarse de su hijo con el mismo nombre y profesión de arquitecto, ya había publicado y defendido la utilización del hierro de fundición





FIGS. 27 y 28 Dos modos de concebir la estructura metálica. Arriba: Inauguración de la nueva sala de lectura de la Biblioteca Imperial de París, hoy Sala Labrouste. Dibujo de H. LINTON, publicado en *Le Monde illustré* (27 de junio de 1868, p. 408). A la izquierda: Vista de dos tramos de la iglesia de Vésinet, al norte de Versalles, proyectada y construida por L.-A. BOILEAU (1863). Ilustración VIII de su *Histoire critique de l'invention en architecture...*

para las nuevas construcciones que exigía la sociedad en escritos como la *Nouvelle forme architecturale* (París, Gide et J. Baudry, 1853), donde a las ventajas resistentes de este material se unía la mayor economía en tiempo y precio, ideas que siguió desarrollando en sucesivos artículos y ensayos. Entre ellos se encuentra la *Histoire critique de l'invention en architecture : classification méthodique des œuvres de l'art monumental, au point*

de vue du progrès et de son application à la composition de nouveaux types architectoniques dérivant de l'usage du fer (París, C. Dunod, 1886), en la que entre otras cuestiones hace un relato del hierro en la historia de la construcción, dando entrada y reconociendo el papel de algunos ingenieros, sin dejar de reconocer el aldabonazo que supuso el mencionado Iron Bridge sobre el Severn.

La serie de propuestas diseñadas por el propio Boileau indican hasta qué punto la arquitectura del hierro era moneda corriente desde mediados de siglo con refinadas obras maestras como la Biblioteca de Santa Genoveva (1843-1850) y la Biblioteca Imperial, luego Nacional (1862-1868), ambas en París y proyectadas por Henri Labrouste, quien con libertad ecléctica buscó, muy lejos de Boileau, una nueva expresión para el hierro, del que supo sacar todas las ventajas imaginables para los depósitos de los libros y sala de lectura, aunque nadie pudiera adivinar desde la calle aquella sabia y luminosa estructura interior metálica.

El deseo de ocultar el esqueleto metálico tentó a la propia arquitectura industrial, siendo su primer y más logrado ejemplo la fábrica de chocolates Menier (1871-1872) en Noisiel-sur-Marne (Francia), proyectada por Jules Saulnier. A él se debe la formidable idea de sustituir un viejo molino sobre el río Marne por un moderno edificio industrial, también sobre el río, que se convirtió en el corazón mecánico del conjunto fabril. El edificio ha pasado a la historia de la arquitectura por sus amables fachadas en las que se ve el cerramiento cerámico y polícromo, cruzado por una red de rombos a modo de celosía (*pan de fer*) que contribuye a rigidizar la estructura metálica. Siempre se ha apreciado más su belleza ecléctica que la notoriedad de su estructura metálica, montada sobre un puente de cuatro pilas sobre un brazo del Marne que alojan entre sí tres poderosas turbinas, la del centro aprovechada de la anterior instalación en 1855.

El propio Saulnier dio a conocer en 1874 su proyecto en la *Encyclopédie d'architecture : revue mensuelle des travaux publics et particuliers* (vol. 3, pp. 116-120) y, desde entonces, el interés del proyecto no dejó de tener un hueco en las revistas especializadas como *Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères* (París, t. XVI, núm. 1, 6 de abril de 1890, planchas I, II y III), publicando la planta, secciones y detalles de aquella maquinaria para moler, mezclar y preparar el codiciado producto del chocolate, cuyas la-

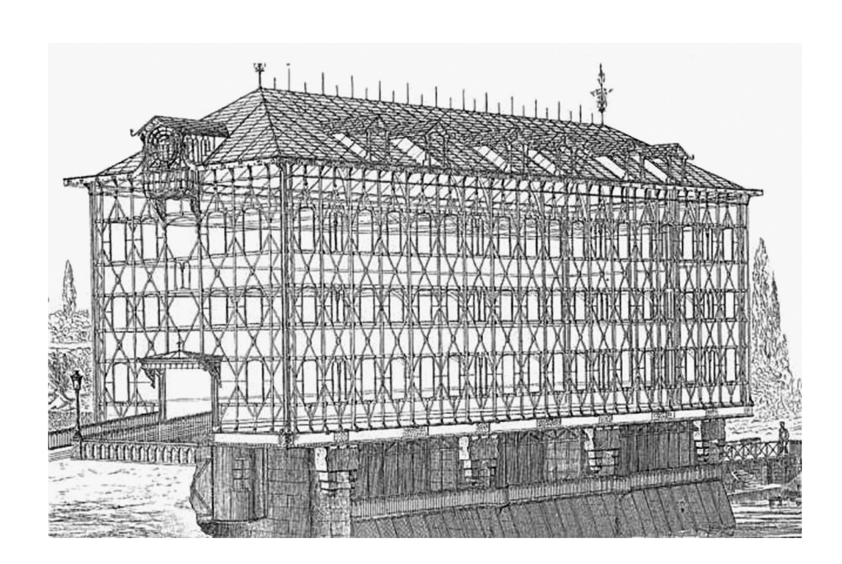
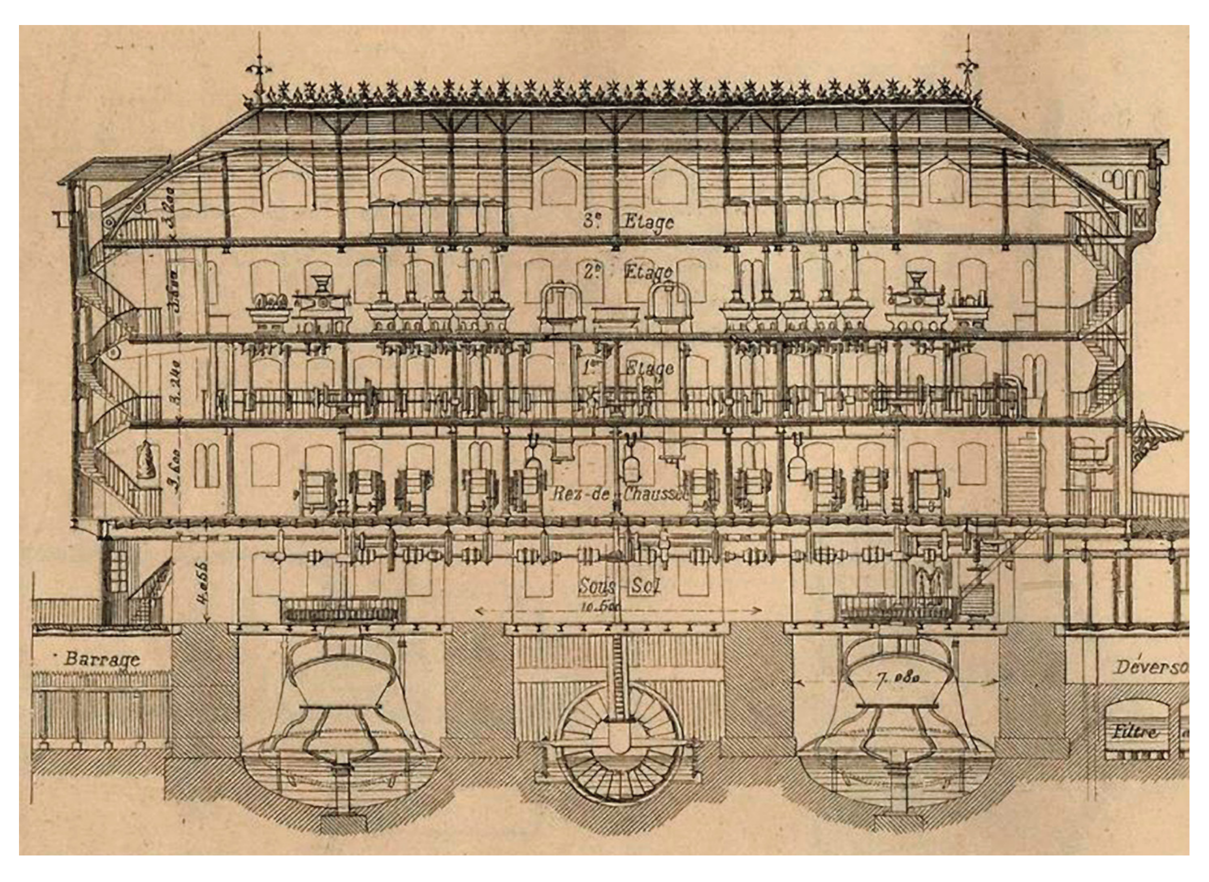
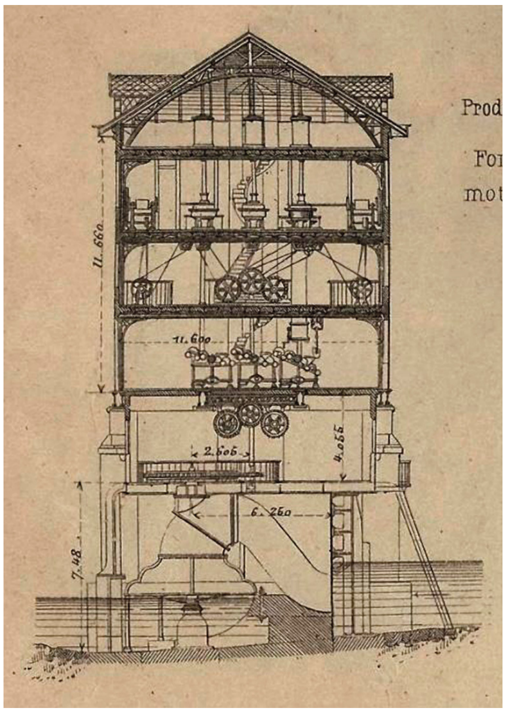


FIG. 29 Chocolaterie Menier. Reproducido por JULIEN TURGAN, *Les grandes usines : les constructions métalliques et entreprises générales, Moisant, Laurent, Savey, et compagnie.* París, Librairie des dictionnaires, [1889].





FIGS. 30 y 31 Secciones longitudinal y transversal de la fábrica de chocolates Menier, Noisiel-sur-Marne (Francia). Reproducidas en *Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères* (París, t. XVI, núm. 1, 26 de abril de 1890, planchas I y II).

bores iniciales exigían una enérgica maquinaria que generaba fuertes vibraciones en las distintas plantas de la construcción. Así, desde las tres ruedas hidráulicas motrices, de eje horizontal la del centro y vertical las otras dos, amén de otras dos turbinas de vapor para cuando el río no prestaba la debida fuerza, hasta la planta alta, la energía hidráulica recorría una suerte de entreplanta que alberga la maquinaria con los árboles de transmisión que, a su vez, transfieren el movimiento de estos a las máquinas de la planta baja, donde se produce la molienda, y de aquí a las distintas máquinas de las plantas superiores, en una interrumpida transmisión vertical. Se levantaron pocos edificios-máquina como este sobre la base ancestral del molino hidráulico.

Ello demandaba una peculiar estructura que resolvió el ingeniero constructor Armand Moisant, el colaborador necesario que se había diplomado como ingeniero-constructor en la École Centrale des Arts et Manufactures de París, la actual École Centrale de París,

donde terminó sus estudios en 1859, esto es, cuatro años después de que Eiffel lo hiciera en el mismo centro, sin duda el más prestigioso de cuantos existían entonces en el específico campo de la ingeniería civil. Aquellos años 50 del siglo XIX representaron para la Escuela Central de París una de sus más brillantes etapas, tanto por los resultados de la enseñanza específica de la arquitectura e ingeniería del hierro, como por los alumnos que entonces asistieron a sus clases. Entre ellos, además de Eiffel y Moissant, se graduó en el mismo centro parisiense, en 1856, el norteamericano William Baron Le Jenney, quien ha pasado a la historia como el padre de la Escuela de Chicago tras el gran incendio de 1871 y autor del primer rascacielos con estructura de acero en la misma ciudad, el legendario Home Insurance Building, construido en 1884 y, cómo no, demolido en 1931. Sin embargo, con solo ver esta obra y otras de su género, comprobamos que la arquitectura norteamericana había tomado un rumbo distinto al de Europa en términos de simple modernidad, cuya racionalidad está dotada de una belleza propia.



FIG. 32 BARON LE JENNEY. Home Insurance Building, Chicago. Construido en 1884 y demolido en 1931.

Pero volviendo a París cabe añadir que las construcciones metálicas de los Talleres de Armand Moisant y las posteriores ampliaciones de la firma fueron, junto a las de Eiffel, de las más notables en la segunda mitad del siglo XIX en Francia, habiendo construido obras formidables, como la ampliación de los grandes almacenes Au Bon Marché, iniciados por Alexandre Laplanche, pero que alcanzarían su máxima expresión en 1872-1874 con el proyecto de Louis-Charles Boileau, hijo del mencionado Boileau «*pére*».

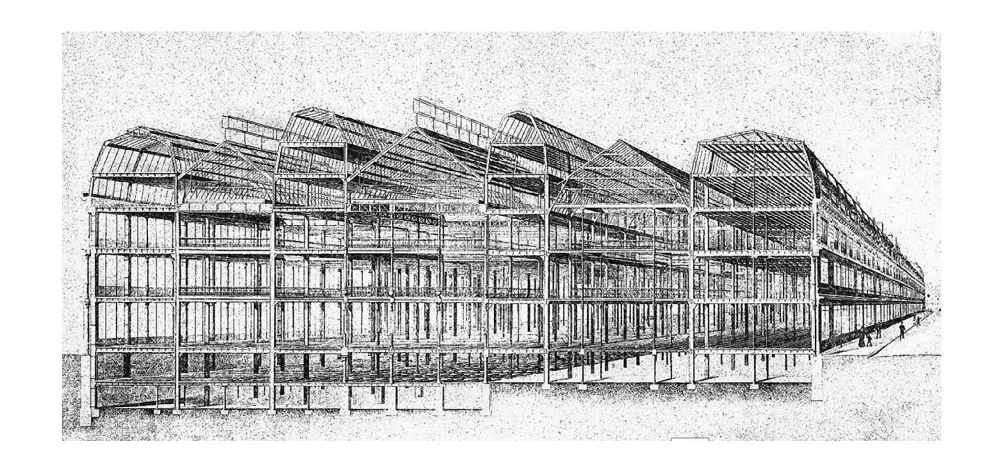


FIG. 33 Ampliación de los almacenes Au Bon Marché de París, por el arquitecto LOUIS-CHARLES BOILEAU y el ingeniero ARMAND MOISANT (1872-1874). Ilustración tomada de JULIEN TURGAN: *Les grandes usines : les constructions métalliques et entreprises générales, Moisant, Laurent, Savey, et compagnie.* París, Librairie des dictionnaires, [1889].



FIG. 34 *Les magasins de nouveautés* de Au Bon Marché. *L'Universe ilustré : journal hebdomaire* (París) 30-03-1872, p. 205.



FIG. 35 ALBERT CHEVOJON. Interior de los almacenes *Au Bon Marché*, París. Estructura metálica construida en los Talleres Moisant, Laurent, Savey. Fotografía de h. 1900 (Archives Moisant-Savey) [Domaine public].

Naturalmente, junto a Boileau y a Armand Moisant estuvo el mentor de la política comercial de Au Bon Marché, Aristides Boucicaut, quien concibió su comercio en unos términos rompedores, adelantándose y dando el modelo a los nuevos almacenes que surgirían en el París de los bulevares concebidos por el barón Haussmann, donde los grandes comercios buscaron lugares estratégicos y concurridos como los almacenes Au Printemps, con la obra nueva de Paul Sedille (1883), La Samaritaine, con las ampliaciones de Frantz Jourdain a partir de 1883, o las más tardías Galeries Lafayette (1912), que tienen en común una diáfana estructura metálica de varios pisos en torno a un patio central cubierto y de gran luminosidad, como lo percibía Zola para quien estos edificios encarnaban «la cathédrale du commerce moderne, solide et légère, faite pour un peuple de clientes» (*Au Bonheur des dames*, París, G. Charpentier et E. Fasquelle, 1883). Allí, aquel público se podía mover a placer para ver y ser visto en un amplio y etéreo espacio bajo el vuelo audaz de las cubiertas de hierro y vidrio, generando un nuevo ámbito social de encuentro que parecía heredar su papel del mundo del teatro. Para que no parezcan estas afirmaciones exageradas recordaremos que en Au Bon Marché había, además, cuatro grandes comedores para unas seiscientas personas; ciento cincuenta habitaciones «amuebladas, espaciosas, claras y coquetas», destinadas al personal que quisiera «*habiter la maison*»; salones reservados para reuniones de señoras; y para los más «jóvenes una sala de lectura, una biblioteca y una sala de billar...».

Finalmente, no cabe referirse al hierro en la historia de la construcción sin mencionar el papel desempeñado por las Exposiciones Universales entre 1850 y 1889, suficientemente conocidas y estudiadas. Sus propios edificios, con sus contradicciones, fueron la

mejor y más fiel imagen del nuevo papel que podía desempeñar el hierro en el ámbito de la construcción. Obras que participando con orgullo en su pertenencia al nuevo mundo industrial e ingenieril, sin embargo, miraban a la historia de la arquitectura para decirle que las nuevas construcciones superaban en superficie y altura a todo lo que había producido su milenaria historia, desde las pirámides de Egipto pasando por las punzantes agujas de las torres góticas hasta llegar al formidable templo de San Pedro del Vaticano. Nada se diga de la comparación de su coste y del tiempo empleado en la construcción de unas y otras. En el artículo de Emilio Castelar escrito con motivo del proyecto de monumento a Colón imaginado por Alberto del Palacio, publicado en *La Ilustración Española y Americana* en 1891, se ven reflejadas y resumidas las virtudes que representaba al final del siglo XIX el empleo del hierro: «Para recibir bajo grandes arcos las locomotoras, para cerrar el espacio de las estaciones de ferrocarriles, para erigir esos inmensos bazares llamados Exposiciones Universales, no hay como el hierro, que ofrece mucha resistencia con poca materia, y el cristal que os guarda de las inclemencias del aire y os envía en su diafanidad la necesaria luz...».

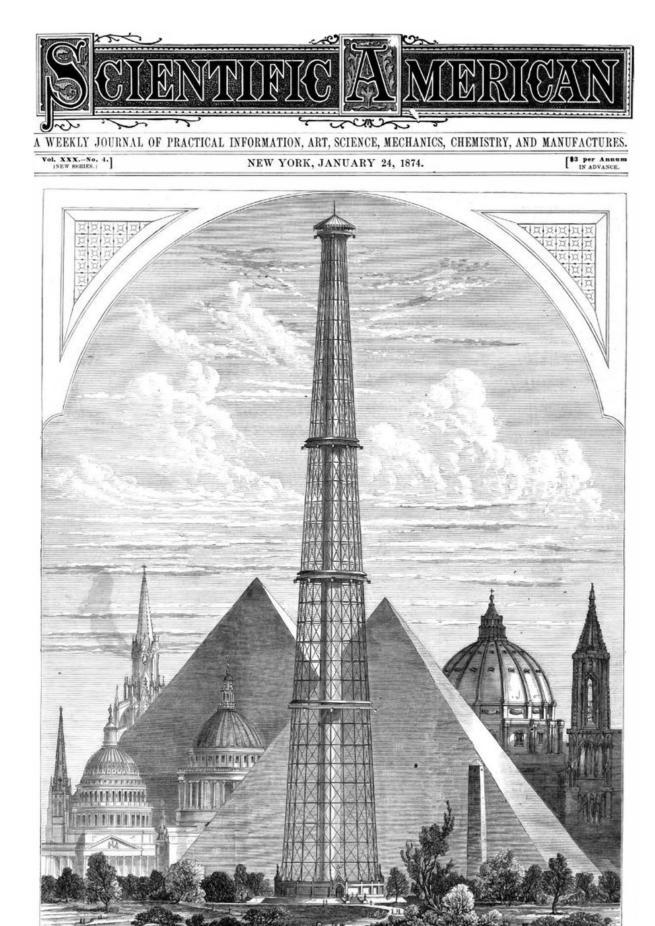


FIG. 36 Torre del Centenario, no construida, de mil pies de altura, proyectada en 1871 por los ingenieros CLARK y REEVES para la Exposición Universal de 1876 en Filadelfia, en Fairmount Park (*Scientific American*, núm. 4, vol. XXX, 24 de enero de 1874).

Las palabras de Castelar venían a perpetuar la imagen utópica del Palacio de Cristal que Paxton hizo realidad en Hyde Park para la primera Exposición Universal de Londres (1851), construcción que inmediatamente tuvo sus seguidores, como el Palacio de Cristal de la Exposición de Nueva York de 1854, en la que quedó claro lo que había de rivalidad e imitación entre ellos. La obra la proyectaron los arquitectos George Cartensen y Charles Gildemeister, autores de una cuidada memoria con las plantas, alzados y secciones del edificio (*Crystal Palace. Illustrated description of the building*, Nueva York, Riker, Thorne & Co. publishers, 1854). Como su homónimo londinense, el Palacio de Cristal neoyorquino también se levantó en un lugar abierto, el Bryant Park, y como el londinense también fue pronto pasto de las llamas cuando, paradójicamente, se presentó siempre el hierro como una solución «*fireproof*». El hecho es que desaparecieron físicamente los dos incunables del Palacio de Cristal a un lado y otro del Atlántico, el de Londres y el de Nueva York, si bien su modelo se refugió en la memoria colectiva y siguió dando frutos a



FIG. 37 *The Crystal Palace from the northeast during the Great Exhibition of 1851.* DICKINSON BROTHERS, *Dickinson's Comprehensive Pictures of the Great Exhibition of 1851,* 1852.

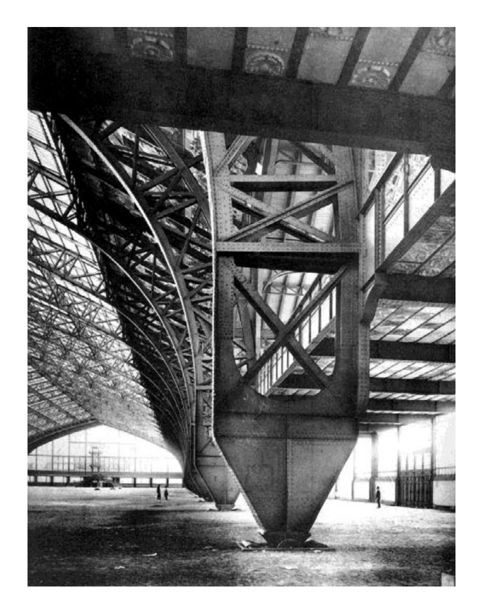
lo largo del siglo XIX, incluso literarios, como lo testimonia Dostoievski cuando escribió en *Las memorias del subsuelo* (1864) lo siguiente: «... y entonces se levantará el utópico palacio de cristal...; y entonces... bueno, la vida será eterna bienaventuranza». Los antecedentes y descendencia inmediata del proyecto de Paxton pertenecen a un mundo que se terminaba en el propio Palacio de Cristal, es decir, se trataba de multiplicar cuantas veces fuese preciso unos mismos elementos estandarizados con los que se conquistaba superficie, pero no altura. Era una solución, digamos corta, que venía de la experiencia de la construcción de invernaderos y no daba más de sí. El mismo proyecto que Bogardus presentó para la exposición neoyorkina, aunque no se realizó, planteaba un gran edificio de planta circular con elementos prefabricados de hierro fundido, donde tan solo emergía una modesta torre cilíndrica al modo de la de Pisa, pero rígidamente vertical, para dar cabida a la demostración del funcionamiento de un ascensor.

Con ellos queremos significar que la diferencia entre el Crystal Palace de Paxton y, por ejemplo, la Galería de Máquinas de París (1889) supone un cambio cuantitativo que dio un giro de ciento ochenta grados a la construcción metálica, pasando de un campo de limitadas experiencias acumuladas a un proceso inventivo de base científica. Esto induce a seguir investigando sobre todo este patrimonio pues, aunque de las grandes construcciones de las Exposiciones Universales, incluso de las desaparecidas, lo conocemos en profundidad casi todo, todavía resta mucho camino por recorrer. Por ejemplo, sabemos casi todo de la Galería de Máquinas de París (1889), o Palais des Machines, como también se la denominó; quiénes fueron su arquitecto, Ferdinand Dutert, e ingeniero, Victor Contamin; la superficie y altura alcanzada; el cálculo de su estructura; la novedosa utilización de los arcos triarticulados con sus rótulas en la base y en la cima, sobre los que descansaba la gran cubierta dejando diáfano su interior con una luz libre de ciento diez metros; el tipo de hierro empleado y la utilización de roblones; los elementos prefabrica-



FIG. 38 *New York Crystal Palace. Illustrated description of the building by Geo. Carstensen & Chs. Gildemeister, architects of the building; with an oil-color exterior view, and six large plates containing plans, elevations, sections, and details, from the working…* Nueva York, Riker, Thorne & Co. publishers, 1854.

dos que permitieron su rápido montaje en cinco meses; la construcción de todos sus elementos por la Compañía de Fives-Lille y la Sociedad Cail; los más de doscientos operarios que trabajaron diariamente durante aquel tiempo; fotos y grabados del ruidoso interior con gran número de máquinas durante la exhibición y el silencio vacío en que quedó tras la clausura de la exposición; incluso las fotografías de su gratuita destrucción... Lo conocemos todo, o casi todo, con gran detalle, aunque ello apenas si pesa en la memoria por haber desaparecido la construcción misma. Pero todavía nos faltan algunos eslabones de la cadena, por ejemplo, la mirada de sus autores sobre lo que había sido el progreso de la utilización del hierro, desechando en este caso el acero por no ofrecer garantía suficiente, o el modelo ofrecido por anteriores obras formidables como la gran cubierta de la estación londinense de St. Pancras de William H. Barlow, cuya luz de setenta y tres metros la debieron de tener como referencia de obligada superación, así como otras muchas cuestiones que entonces surgieron y se discutieron pública y científicamente. Baste acercarse a las páginas de la revista del Instituto de Ingenieros Civiles de Londres en las que se detalla y defiende el proyecto («Description of the St. Pancras Station and Roof, Mayland Raiway, by William Henry Barlow», en *Minutes of proceedings of the Institution of Civil Engineers; with abstracts of the dicussions*, vol. XXX, session 1869-70. Part II, Londres, 1870, pp. 78-105), para comprobar el alcance e interés de estos trabajos. Para entender, a su vez, la deuda que todas estas grandes estructuras tuvieron hacia la experiencia derivada de la construcción y problemas ofrecidos por los puentes metálicos, no estaría de más recordar que el propio Barlow terminó el puente de Clifton (Bristol, Inglaterra) proyectado por Brunel, y que defendió su proyecto en el mencionado Instituto londinense, en 1867, en una sesión (*Minutes of proceedings of the Institution of Civil En-*





FIGS. 39 y 40 A la izquierda, Galería de Máquinas de la Exposición Universal de París (1889) y, a la derecha, construcción de The Great Manufactures & Liberal Arts Building, de la Exposición Colombina de Chicago (1893), Museum of Science and Industry, Chicago.

gineers…, vol. XXVI, pp. 243-256, Londres, 1867) presidida por John Fowler, autor a su vez del célebre Forth Rail Bridge (Escocia), declarado Patrimonio de la Humanidad. La mención de sus nombres indica el nivel altísimo alcanzado por la ingeniería del hierro en el campo de la construcción y el papel jugado siempre por el puente como campo de pruebas.

La relación de la desaparecida Galería de Máquinas de París con otros antecedentes nos daría una historia circunstanciada del máximo interés, pero no menor si se toma la obra de Dutert y Contamin como punto de partida hacia otras construcciones posteriores del mismo orden, sin salirnos del mundo de las exposiciones. Sea suficiente en estas líneas traer el recuerdo de la potente estructura del Great Manufactures & Liberal Arts Building, de la Exposición Colombina de Chicago (1893), formidable construcción férrea, aunque con fachadas de ecléctico historicismo, dedicada esta vez no al mundo de las máquinas sino al de la ciencia, al del arte, al de la literatura y al de la música, magnífico acercamiento del hierro a las humanidades. La obra fue proyectada por George Browne Post, con formación específica en los campos de ingeniería y arquitectura, cuya estructura remite directamente a la Galería de Máquinas de París, en la que se miró buscando superarla con una superficie de 514 x 240 metros, 64 metros de altura y unas formas de 108 metros de luz entre el arranque de sus apoyos, en el intento de levantar la más grande construcción del mundo. Terminaremos recorriendo la exposición colombina hasta encontrarnos con el Pabellón de Agricultura, donde trabajaron los arquitectos McKim, Mead and White, a quienes recordamos aquí expresamente como autores de una de las obras maestras de la construcción en hierro, la Pennsylvania Station de Nueva York (1910) y si el edificio de las Manufacturas y Artes liberales de Chicago, debido a George B. Post, fue pronto arrasado por un fatal incendio en 1894, la estación de Penn no esperó a este fatídico final y, directamente, el hombre la destruyó en 1963 sin dar tiempo al fuego.

BIBLIOGRAFÍA

ABBOTT, J. (1855), *The Harper Establishment; or, How the Story Books Are Made*, Nueva York, Harper & Brothers.

AGUILAR, I. (1988), *La estación de ferrocarril, puerta de la ciudad*, Valencia, Generalitat Valenciana (2 vols.).

BALTARD, V. y CALLET, F. (1862), *Les Halles Centrales de Paris construites sous le règne de Napoleon III, par V. Baltard & F. Callet, architectes,* París, A. Morel et Cie.

BALTARD, V. y CALLET, F. (1863), *Monographie des Halles centrales de Paris construites sous le règne de Napoléon III et sous l'administration de M. le Baron Haussmann... par V. Baltard, et feu F. Callet, architectes,* París, A. Morel.

BALZAC, H. DE (1873), *Le ventre de Paris,* París.

BOGARDUS, J. (1856), *Cast-Iron Buildings, Their Construction and Advantages*, Nueva York, J.W. Harrison.

BOILEAU, L.-A., «*père*» (1853), *Nouvelle forme architecturale,* París, Gide et J. Baudry.

BOILEAU, L.-A., «*père*» (1886), *Histoire critique de l'invention en architecture : classification méthodique des œuvres de l'art monumental, au point de vue du progrès et de son application à la composition de nouveaux types architectoniques dérivant de l'usage du fer,* París, C. Dunod.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (1840), París, núm. 437.

CARTENSEN, G. y GILDEMEISTER, C. (1854), *Crystal Palace. Illustrated description of the building*, Nueva York, Riker, Thorne & Co. publishers.

DEMPSEY, D. (1850), *Particularly describing the Britannia and Conway tubular bridges,* Londres.

«Description of the St. Pancras Station and Roof, Mayland Raiway, by William Henry Barlow» (1870), en *Minutes of proceedings of the Institution of Civil Engineers; with abstracts of the dicussions*, vol. XXX, II, Londres, pp. 78-105.

DÍAZ PÉREZ, N. (1877), *De Madrid a Lisboa: impresiones de un viaje*, Madrid, Minuesa.

DOSTOIEVSKI, F. M. (1864), *Memorias del subsuelo*.

DUPIN, C. (1825-1826), *Voyages dans la Grande-Bretagne entrepris relativement aux services publics de la guerre, de la marine et des ponts et chaussées*, París, Bachelier.

Encyclopédie d'architecture : revue mensuelle des travaux publics et particuliers (1874), vol. 3.

Encyclopédie méthodique (1783), t. II, París, Hôtel de Thou.

Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers (1751-1772), París.

FAIRBAIRN, W. (1844), «On the construction of fireproof buildings», en *The Edinburgh New Philosofical Journal, exhibiting a view of the Progressive Discoveries and Improvements in the Sciencies and the Arts*, vol. XXXVIII.

FAIRBAIRN, W. (1854), *On the application of Cast and Wrought Iron to Building Purposes*, Londres y Nueva York.

FAIRBAIRN, W. (1861), *Iron, its history, properties, and processes of manufacture*, Edimburgo.

FERNÁNDEZ TROYANO, L. (1999), *Tierra sobre el agua*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (2 vols.).

GAYLE, M. y GAYLE, C. (1998), *Cast-Iron Architecture in America: The Significance of James Bogardus*, Nueva York, W. W. Norton & Company.

GIEDION, S. (1968), *Espacio, Tiempo y Arquitectura*, Barcelona, Editorial Científico-Médica (1ª ed. Harvard University Press, 1941).

HAUSSMANN, G.-E., Barón (1893), *Mémoires du Baron Haussmann*, París, Victor-Havard.

HODGKINSON, E. (1831), *Theoretical and experimental researches to ascertain the strength and best forms of iron beams*, Mánchester.

JOBARD, J. B. (1841), «Architecture métallurgique. Maisons en fonte», en *Mémorial encyclopédique et progressif des connaissances humaines,* París, núm. 121, pp. 105-107.

La grande encyclopédie : inventaire raisonné des sciences, des lettres et des arts (1885-1902), París, H. Lamirault.

Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères, París, t. XVI, núm. 1, 6 de abril de 1890.

LECLERC, G. L., conde de Buffon (1749-1788), *Histoire Naturelle, générale et particulière, avec la description du Cabinet du Roi*, París.

LECLERC, G. L., conde de Buffon (1785), *Historia natural, general y particular,* Madrid, t. I. Traducción José Clavijo.

LUCAS, R. E. (2002), *Lectures on Economic Growth,* Cambridge, Harvard University Press.

Minutes of proceedings of the Institution of Civil Engineers; with abstracts of the dicussions (1867), vol. XXVI, Londres.

NAVASCUÉS, P. (2007), *Arquitectura e ingeniería del hierro (1814-1936)*, Madrid, Ediciones El Viso e Iberdrola.

PATTE, P. (1769), *Mémoires sur les objets les plus importans de l'architecture,* París.

QUINCY, Q. DE (1825), *Encyclopédie méthodique. Architecture,* t. III, París, Agasse.

QUINCY, Q. DE (1832), *Dictionnaire historique d'architecture*, t. II, París, Librairie d'Adrien Le Clere et Cie.

RÉAUMUR, R.-A. F. DE (1722), *L' art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé,* París, Brunet.

RONDELET, A. (1827-1832), *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, París.

RONDELET, J.-B. (1797), *Mémoire historique sur le dôme du Panthéon français,* París.
SUÁREZ, M. G. (1785), *Memorias instructivas, útiles y curiosas, sobre agricultura, comercio, industria, economía, medicina, química, botánica, historia natural... sacadas de las mejores obras que hasta aquí han publicado las Reales Academias y Sociedades de Francia, Inglaterra, Italia, Alemania, Prusia y Suecia,* Madrid.
Transactions of the Society, Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce (1788), vol. VI, Londres.
TREDGOLD, T. (1824), *Practical Essay on the Strength of Cast Iron, and Other Metals,* Londres, J. Taylor.
VANDERMONDE, A.-T., MONGE, G. y BERTHOLET, C.-L. (1793), *Avis aux ouvriers en fer, sur la fabrication de l'acier*, París.
VV. AA. (1980), *El mundo de las estaciones*, Madrid, Ministerio de Cultura (Los textos sobre las estaciones españolas son de P. NAVASCUÉS e I. AGUILAR).
VERNE, J. (1879), *Les cinq cents millions de la Bégum*, en *Magasin d'éducation et de récréation*.
ZOLA, É. (1883), *Au Bonheur des dames*, París, G. Charpentier et E. Fasquelle.

Volver al índice

2
Puentes colgantes y viaductos ferroviarios

LEONARDO FERNÁNDEZ TROYANO
Ingeniero de Caminos

EL MUNDO DE LOS PUENTES EN EL SIGLO XIX

Los puentes españoles del siglo XIX son consecuencia directa de los realizados en los países de nuestro entorno, e incluso muchos de ellos fueron proyectados y construidos por ingenieros y compañías extranjeras. Los diferentes materiales y estructuras que se iniciaron en este siglo llegaron a España con más o menos retraso, de la mano de ingenieros europeos, especialmente de Francia.

El siglo XIX se puede considerar el más brillante de la historia del puente, porque en él se inició la inmensa mayoría de las técnicas de los puentes modernos, tanto de materiales como de estructuras. El primer puente metálico fue el inglés de Coalbrookdale, un puente arco de 30 m de luz sobre el río Severn, terminado en 1779, hecho con piezas de hierro fundidas; aunque el desarrollo de los puentes metálicos se produjo en el siglo XIX. La producción de hierro en grandes cantidades –y la reducción de su coste– fue uno de los avances técnicos que tuvieron mayor importancia en el origen de la Revolución Industrial, y decisiva en que ésta se produjera en Inglaterra, que durante muchos años tuvo una capacidad de producción de hierro muy superior a los demás países avanzados.

Los puentes de fundición se terminaron a mediados del siglo, porque apareció el hierro laminado en caliente que mejoró significativamente su calidad. Este nuevo material llevó a construir los puentes con perfiles y chapas, lo que configuró en gran medida su estructura y cambió su fisonomía respecto de los de fundición. En la segunda mitad del siglo XIX se construyeron los grandes arcos metálicos y se desarrollaron los puentes viga, en celosía, triangulados o de alma llena; este desarrollo se debió principalmente a las líneas de ferrocarril, de trazado más exigente que las carreteras. El siguiente avance de las estructuras metálicas fue la aparición del acero a finales del tercer cuarto de siglo, que

si bien mejoró considerablemente las posibilidades de la construcción de puentes, no cambió sus técnicas ni su fisonomía, porque se siguieron haciendo con perfiles y chapas.

El siglo XIX se caracterizó por el desarrollo de la mayoría de las técnicas de los puentes modernos, y por la aparición del hormigón armado. Pero esto no quiere decir que desaparecieran los materiales y las técnicas de puentes utilizadas hasta entonces, que eran las de los puentes de piedra y las de los puentes de madera, de los que se hicieron muchos durante el siglo XIX, más que metálicos; los viaductos para el paso del ferrocarril hechos de madera y de piedra abundaron en las primeras vías ferroviarias.

LOS PUENTES COLGANTES DEL SIGLO XIX EN ESPAÑA

Los puentes colgantes modernos se iniciaron a principios del siglo XIX, gracias al americano J. Finley, que utilizó cables de cadenas[1], igual que en los puentes catenaria chinos de los siglos XIV al XVII; y así fueron los cables principales de los primeros puentes colgantes hasta que los hermanos Seguin iniciaron en Francia en los años 20 del siglo XIX los puentes con cables principales formados por alambres paralelos.

La historia de los puentes colgantes es de las más fascinantes de todas las historias parciales de los puentes, porque han pasado por fases de perfecta acogida y admiración, a fases de absoluto descrédito y prácticamente a su desaparición. Estas fases se han ido alternando a lo largo de la historia[2].

La que llamamos segunda generación de los puentes colgantes coincide con la primera mitad del siglo XIX; la primera es la de los puentes catenaria chinos de cadenas y los sudamericanos de cuerdas. En estas dos primeras generaciones no se tenía idea de la necesidad de rigidez del tablero para evitar las deformaciones excesivas producidas por las sobrecargas. Esta idea, en cambio, estuvo ya clara a finales del siglo XIX en los puentes colgantes de la tercera generación.

La gran ventaja de los puentes colgantes es su ligereza, por ello los mayores puentes del mundo en la actualidad son colgantes; pero en esta ventaja radica también su mayor debilidad, porque la mayoría de los problemas que han tenido se deben precisamente a esta ligereza. Muchos se ha llevado el viento a lo largo de la historia. El último accidente y el más famoso fue el del puente de Tacoma de 853 m de luz: en noviembre de 1940, pocos meses después de su inauguración, un viento moderado, del orden de 60 kilómetros por hora, indujo en él unas vibraciones que lo llevaron a la ruina.

En España hubo alguna catástrofe memorable en los puentes colgantes, como la del de Fraga sobre el Cinca en la que hubo 12 víctimas mortales. Se hundieron también muchos otros por diversas causas: unos durante la prueba de carga, como la reconstrucción del puente de Arganda[3]; otros por fallos de los cables o péndolas; en otros casos el fallo se debió al descalce de pilas y cimientos como ocurrió en el primer puente Arganda, que lo derribó una crecida del río Jarama en 1858; y en el puente de Fraga que se hundió varias veces por esta causa; otros fueron destruidos en las distintas guerras que asolaron nuestro país en el siglo XIX.

Por todo ello, los puentes colgantes fueron siempre problemáticos, y tuvieron detractores. Igual que en el resto de Europa, en España, se dejaron de construir a mediados



FIG. 1 J. PÉREZ VILLAAMIL. *Vista de la ciudad de Fraga y su puente colgante*, 1847. Museo del Romanticismo, Madrid © Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

del siglo XIX. Pero a pesar de sus problemas, los puentes colgantes que llamamos de la segunda generación, tuvieron un papel importante en las obras públicas españolas en las décadas 40 y 50 del siglo XIX. Eran puentes económicos, que permitían luces grandes, lo que evitaba las cimentaciones en los cauces. Pablo Alzola, en su historia de las obras públicas en España[4], se refiere a unos veinte puentes colgantes construidos en España, pero si incluimos los puentes colgantes ligeros hechos localmente, el número es mayor.

En España, en general, los distintos tipos de puentes se empezaron a utilizar con más o menos retraso respecto a los países más avanzados de Europa, salvo en los colgantes, donde, si son ciertas las fechas de terminación del puente de Burceña sobre el río Cadagua, y del de San Francisco sobre el río Nervión, ambos en Bilbao, que figuran en el libro ya citado de Pablo Alzola, nos encontramos con que en España se construyeron dos de los primeros puentes colgantes de Europa.

El puente de Burceña se terminó en 1822, dos años después del Union Bridge de Samuel Brown, de 137 m de luz, el primer gran puente colgante europeo. Es obra del arquitecto Antonio de Goicoechea, que sigue la técnica americana e inglesa de los cables de cadenas. Es un puente de pequeña luz, del que únicamente conocemos un grabado; fue destruido en 1834 en las guerras carlistas; se reconstruyó, pero se volvió a hundir por la «suelta de una amarra» en 1881 y se sustituyó por un puente viga metálico[5].

En 1828 Goicochea también construyó el puente colgante de San Francisco sobre el río Nervión en Bilbao. Era un puente de una luz considerable en ese momento, 59 m. Originalmente tenía cables de cadenas; tuvo problemas y por ello se reconstruyó en 1852. El nuevo puente era asimétrico con una sola torre. Fue destruido en 1874, en la última guerra carlista, y sustituido por un puente con un arco rebajado metálico, proyecto de Pablo Alzola[6].

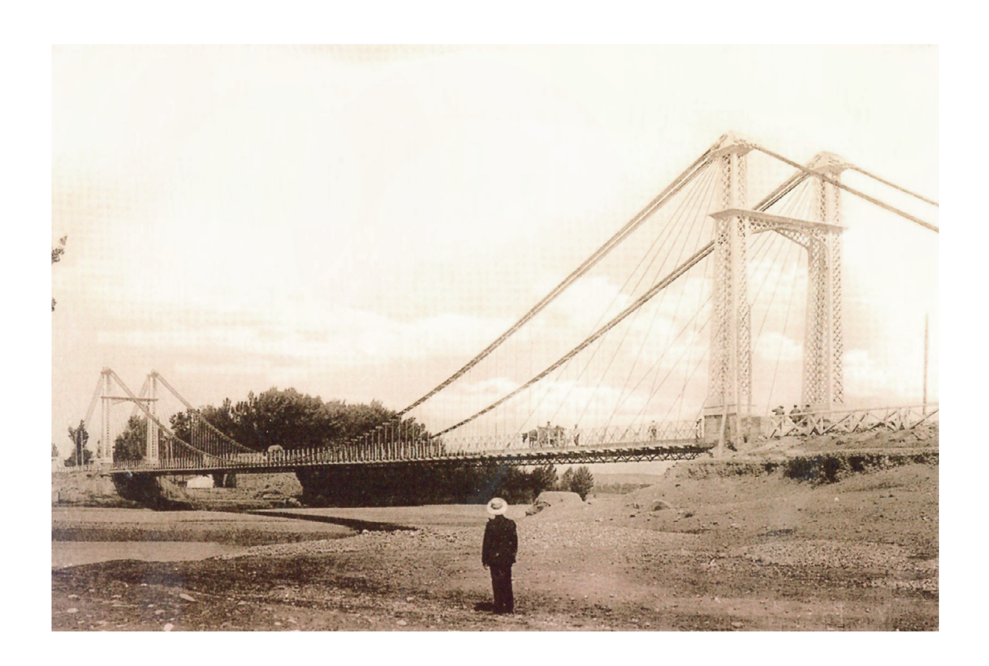


FIG. 2 Puente de Santa Isabel sobre el río Gállego, 1864.

Las técnicas utilizadas por Goicoechea en sus puentes no trascendieron al resto del país; se quedaron aisladas sin dar lugar a un desarrollo posterior. El único que se puede considerar heredero de los anteriores es el de los Fueros, también en Bilbao sobre el río Nervión, construido por Sabino Goicoechea, arquitecto hijo de Antonio[7].

En la administración española a principios de los años 30 se despertó un gran interés por los puentes colgantes, materializado por los ingenieros Larramendi y Pedro Miranda[8]. Miranda aprendió en Francia su técnica, y la aplicó en el proyecto del puente sobre el río Tajo en Aranjuez en la carretera de Madrid a Cádiz, con un solo vano de 35 m de luz, construido en 1833 con cables de cadenas. Ha sido el puente más longevo de los colgantes españoles porque estuvo en servicio hasta que en 1935 se sustituyó por un arco metálico superior.

Después de la construcción del puente de Aranjuez, Larramendi decidió contactar con la empresa de los hermanos Seguin para contratarles cuatro puentes colgantes. Su construcción fue polémica y dio lugar a muchas críticas por parte de los ingenieros españoles que intervinieron en ellas, que llegaron a decir que «la Dirección de Caminos tuvo con Mr. Seguin consideraciones y condescendencias que no hubiera tenido con contratistas españoles»[9].

El primer puente de esta serie que se terminó fue el de Fuentidueña sobre el río Tajo, inaugurado en 1842. Tenía 62 m de luz y estuvo en servicio 24 años, hasta que en 1866 fue destruido. Se reconstruyó con un puente viga en celosía de dos vanos.

El segundo fue el puente de Arganda sobre el río Jarama, que se inauguró en 1843. Consistía en un puente de tres vanos con una luz central de 59 m y dos laterales de 39 m. Con esta distribución de luces fue necesario disponer unas torres de menor altura sobre los estribos, y unir las cuatro torres con cables rectos para dar mayor rigidez al conjunto. En 1858 se hundió durante una avenida del río por descalce de una pila. La reconstrucción se terminó en 1863 pero durante la prueba de carga volvió a hundirse cuando ya estaba completa la carga. Se reconstruyó de nuevo y estuvo en servicio hasta que a finales del siglo XIX se sustituyó por un puente metálico de vigas[10].

El tercero fue el de Santa Isabel sobre el río Gállego, terminado en 1844. Presentaba un solo vano de 136 m de luz y estuvo en servicio durante veinte años a cargo de la empresa explotadora, al cabo de los cuales pasó a la administración, que años después se planteó sustituirlo por un puente rígido; pero el costo que suponía esta sustitución llevó a la restauración del puente colgante mejorando su rigidez[11]. Era ya la época de los puentes colgantes que hemos llamado de tercera generación. Para la reconstrucción llamaron a Arnodin, que ya había construido con su sistema los puentes de Saint-Ilpize, de 68 m de luz, en 1879, y de Lamothe, de 115 m de luz, en 1883. Realmente Arnodin hizo un nuevo puente, reforzando las torres, haciendo un tablero metálico e introduciendo tirantes en los cuartos de luz contiguos a las torres. Estuvo en uso hasta que se sustituyó en el fin del primer cuarto del siglo XX.

El cuarto puente construido por la empresa de Seguin fue el de Carandia sobre el río Pas, del que tenemos pocos datos. Tenía una luz de 110 m y se inauguró en 1843.

En 1845 se inauguró el puente de Dueñas sobre el río Pisuerga en la carretera de Esguevillas a Dueñas. El proyecto es de los ingenieros españoles Calixto Santa Cruz y Andrés Mendizábal. Era un puente de 72,7 m de luz con torres de sillería y tablero de madera que ardió en 1883[12]; se rehízo poco después y se mantuvo en servicio hasta que en 1926 fue sustituido por un puente de hormigón armado.

Los siguientes puentes colgantes que se construyeron en España se hicieron en Andalucía. El primero es el de Mengíbar sobre el río Guadalquivir en la carretera de Bailén a Málaga, con vano único de 108 m de luz, terminado en 1845. Lo más original de este puente son sus torres caladas con formas troncocónicas de fundición.



FIG. 3 Puente de Mengíbar sobre el río Guadalquivir, 1846. Fotografía de JEAN LAURENT,



FIG. 4 Puente de Lascellas sobre el río Alcanadre, 1860.

Los dos puentes siguientes son los de San Pedro, de 81 m de luz, y San Alejandro en la carretera de Madrid a Cádiz, en el término municipal del Puerto de Santa María, que sustituyeron en 1846 a dos puentes de barcas. Son obra de los ingenieros franceses Gustavo Steinacher y Ferdinand Bernadet, autores del proyecto del puente de Triana, en Sevilla.

En 1847 y 1848 se inauguraron dos puentes sobre el río Cinca, el primero en Fraga, en la carretera de Zaragoza a Lérida, y el segundo en Monzón, en la carretera de segundo orden de Huesca a Lérida. El de Fraga tenía tres vanos de 49+83+56 m de luz. En 1852 se hundió una pila a causa de una avenida del río que arrastró a 24 personas, de las que murieron 12[13]; se hundió varias veces más hasta que en 1883 se hizo un puente de vigas metálicas.

En 1860 se terminó el puente de Lascellas sobre el río Alcanadre, un puente tardío porque, como hemos dicho, en esos años ya se habían abandonado los puentes colgantes en Europa y también en España. Es singular, entre los colgantes, por la solución adoptada, que podemos considerar casi única en el mundo. Tiene un solo vano de 94 m de luz y tablero intermedio, es decir, en las zonas próximas a las torres los cables principales están situados por encima del tablero que se cuelga de ellos, y en la zona central están situados por debajo de él, y le sirven de apoyo. Su contrucción se inició en 1856 y en 1888 se reconstruyó, sustituyendo el tablero por uno metálico. Fue volado durante la Guerra Civil[14].

El puente de Jánovas, sobre el río Ara en el Pirineo Aragonés conserva los cables principales y las péndolas originales de 1881, fecha que figura en las piezas de fundición que rematan las torres. Tiene un solo vano de 48 m de luz, tablero de madera, y cuatro cables principales, dos en cada borde, formados por alambres paralelos agrupados cada poca distancia mediante abrazaderas de alambres arrollados, que los mantienen agrupados. El sistema de hilos paralelos fue un invento de los hermanos Seguin, como hemos dicho, y



FIG. 5 Puente de Jánovas sobre el río Ara, 1881.

es probable que construyeran este puente porque siguieron en España hasta finales del siglo XIX, y es indudable que lo hizo un constructor especializado como demuestran los cables y las piezas de fundición que rematan las torres de piedra, y sirven de sillas a los cables. No conocemos ningún otro puente del siglo XIX en Europa que conserve los cables originales hechos con alambres paralelos.

El puente más singular y original de los puentes colgantes españoles es el trasbordador de Portugalete, llamado puente de Vizcaya, declarado recientemente por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad. Tiene una luz de 164 m y se terminó en 1893. Es obra del arquitecto español Alberto de Palacio y del ingeniero francés Ferdinand Arnodin. Es el primer puente trasbordador que se construyó en el mundo, dando origen a una serie de obras de este tipo que se han seguido haciendo hasta fechas recientes.

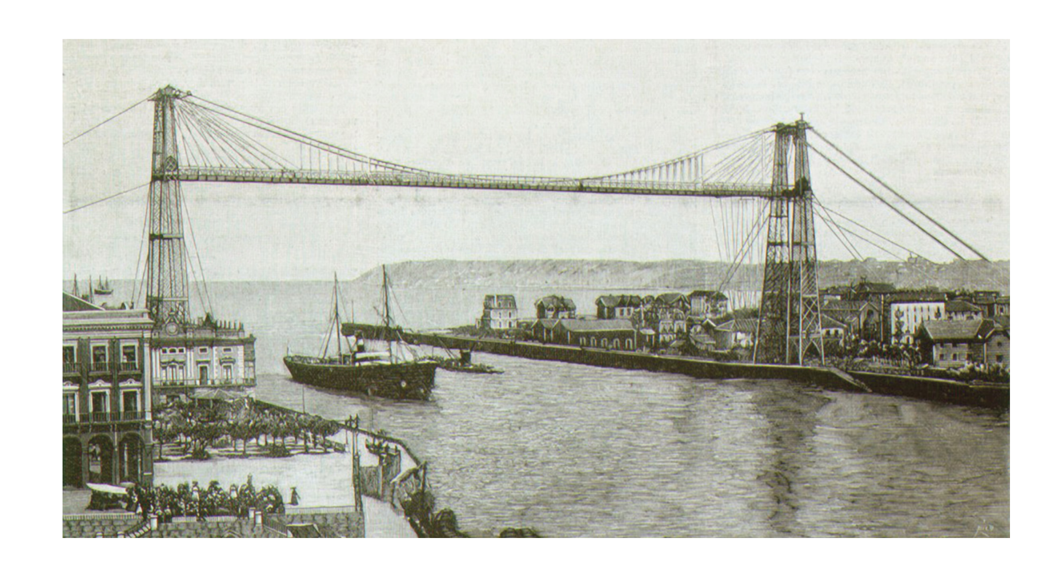


FIG. 6 Puente transbordador de Portugalete sobre el río Nervión, 1893.

La autoría del trasbordador ha dado lugar a controversias, pero lo que parece claro es que la idea es de Alberto de Palacio; y también parece indiscutible que la estructura es de Arnodin, porque desde los primeros dibujos que hay del puente se aprecia una estructura semejante a las que Arnodin había construido anteriormente. La construcción duró tres años[15].

El puente se voló en la Guerra Civil, únicamente se conservaron las torres que no sufrieron daño. La reconstrucción, terminada en 1941, no fue afortunada porque se cambió el sistema de suspensión suprimiendo los tirantes, lo que obligó a aumentar el canto de las vigas, y se modificó el tipo de las vigas trianguladas, cambios que el autor de la reconstrucción justificó por la evolución de los conocimientos de los puentes colgantes. No se planteó la reconstrucción de un puente con un interés histórico y artístico, sino hacer un puente nuevo.

A principios del siglo XX se construyó el puente de Amposta sobre el río Ebro de 135 m de luz, obra de J. E. Ribera, terminado en 1914[16]. Es un puente de tercera generación, con la misma estructura de los de Arnodin, es decir, con cables principales y tirantes, y vigas metálicas de rigidez en los bordes. Ha sufrido varias intervenciones a lo largo de su vida, entre ellas una reconstrucción por los destrozos que se produjeron en la guerra civil, y una reciente rehabilitación integral del puente con sustitución de los cables principales, tirantes y péndolas.

LOS PUENTES ARCO METÁLICOS

Los arcos metálicos de fundición se iniciaron en Gran Bretaña a finales del siglo XVIII, y a principios del XIX ya se habían extendido por Europa, aunque el número de realizaciones en los principios del siglo fue reducido. La solución que más se generalizó en nuestro país fue la de arcos superiores o *bowstring*, triangulando el enlace arco tablero, lo que los convierte en una solución intermedia entre el arco superior y la viga de canto fuertemente variable. Con esta solución se sustituyeron muchos puentes colgantes.

Seguramente el primer arco de fundición que se construyó en nuestro país fue la pasarela del parque de la Alameda de Osuna en Madrid, una pequeña pasarela hecha con un arco muy delgado[17]; y el primer puente arco de fundición fue el de Isabel II sobre el río Nervión en Bilbao, terminado en 1847; tenía siete arcos de fundición, con tímpanos resueltos mediante círculos de radio variable. El puente desapareció durante una riada en 1874. Con los arcos de uno de los vanos se hizo el puente sobre el río Udondo en Leioa, cerca de Bilbao[18], que sigue en pie.

El puente siguiente con arcos de fundición se llamó también de Isabel II, conocido popularmente como puente de Triana, en Sevilla sobre el Guadalquivir. Tiene tres arcos de 46,5 m de luz. Su construcción fue larga, se inició en 1845 y se terminó en 1852. Es proyecto de los ya citados ingenieros franceses Steinacher y Bernadet, que utilizaron la patente del ingeniero francés Polonceau, registrada en 1839 a partir del Pont du Carrousel de París. Consiste en unos arcos tubulares de fundición, con alma de madera, unidos al tablero mediante círculos de diámetro variable, igual que hemos visto en el puente de Isabel II de Bilbao. El puente se mantuvo en servicio con cargas limitadas hasta que en



FIG. 7 Puente de Triana sobre el río Guadalquivir, Sevilla, construido entre 1845 y 1852.

los años 60 del siglo XX se reconstruyó con un tablero metálico esbelto autorresistente que no se apoya en los arcos, y por ello estos quedan como elemento decorativo.

En 1865 se terminó en Valladolid el primer arco *bowstring* que se hizo en España. El proyecto inicial fue un puente colgante, pero el aplazamiento de las obras hizo que se llegara a los tiempos en que los puentes colgantes se pusieron en entredicho y por ello se constituyó una comisión que decidió cambiar el proyecto por un arco superior. Los estribos del puente colgante ya estaban construidos, y por ello hubo que mantener la luz del proyecto inicial, que era de 67,7 m. Llamado oficialmente puente de Prado, se conoce en la ciudad como el puente colgante a causa del proyecto inicial que no se llevó a cabo[19].



FIG. 8 Puente de Prado sobre el río Pisuerga, Valladolid.



FIG. 9 Puente Enrique Esteban sobre el río Tormes, Salamanca.

Puentes *bowstring* de uno o varios vanos se construyeron muchos en España durante el siglo XIX. Nos referimos a algunos de ellos: el siguiente al de Prado fue el de Monzón sobre el río Cinca, que construyó en 1883 el ingeniero Joaquín Pano para sustituir el colgante ya citado. Tenía pilas cilíndricas metálicas rellenas de hormigón en masa[20]. También se sustituyó a finales del siglo XIX el puente colgante de Arganda; en este caso son vigas superiores con fuerte variación de canto que le dan una fisonomía análoga a los arcos. Se conserva actualmente fuera de servicio[21].

Otro de los grandes puentes *bowstring* construido en España es el puente de hierro de Zaragoza sobre el río Ebro, llamado también puente del Pilar. Tiene cinco arcos de 47 m de luz y se terminó en 1885.

También se hicieron puentes en *bowstring* para ferrocarril. Un ejemplo es el puente de Alfonso XII sobre el río Guadalquivir en Sevilla, con cinco vanos de 50 m de luz y terminado en 1880. Sobre el mismo río y en la misma ciudad se construyó la llamada pasadera del agua para el paso de una tubería, con tres vanos principales de 70 m de luz, con arcos muy rebajados, finalizada en 1898. Ambos han desaparecido[22].

Puentes arco de tablero superior se hicieron pocos en España en el siglo XIX, además de los ya citados de Isabel II; entre ellos se puede destacar el de Pablo Alzola que sustituyó al puente colgante de San Francisco sobre el río Nervión en Bilbao, construido en 1874 y que tenía 42 m de luz[23].

Otro puente de este tipo a destacar es el del Grado sobre el río Cinca, un arco rebajado de 68 m de luz, construido en 1867, con arcos de alma llena y tímpanos triangulados, como muchos de los primeros puentes arco metálicos ingleses.

El puente de Enrique Esteban sobre el río Tormes en Salamanca es un puente con seis arcos de 33 m de luz, proyectado en 1898 por el ingeniero S. Zubiaurre y construido a principios del siglo XX. De este puente se puede destacar su recargada decoración historicista, igual que en el puente de Alejandro III en París, contemporáneo de él. Pero en ambos, a pesar de la decoración, se conserva la potencia de la estructura del puente arco[24].

Los dos mayores arcos metálicos de tablero superior que se hicieron en España se proyectaron a finales del siglo XIX. El primero es el de la Barca sobre el río Lérez en Pontevedra, un arco biarticulado de 72 m de luz terminado en 1896. Se sustituyó en el siglo XX por un puente arco de hormigón.



FIG. 10 Puente de Pino sobre el río Duero.

El segundo es el viaducto de Pino sobre el río Duero, el mayor de los arcos metálicos españoles; es un arco biarticulado de 120 m de luz con una estructura extraordinariamente ligera. El proyecto de J. E. Ribera es de 1897, al principio de su carrera, pero se construyó años después, ya en el siglo XX[25].

LOS PUENTES VIGA METÁLICOS

Los puentes viga metálicos se iniciaron también en Gran Bretaña a finales del siglo XVIII, pero su desarrollo es más tardío que el de los puentes arco, pues no se produjo hasta finales de la primera mitad del siglo XIX. En España se empezaron a utilizar a mitad de siglo, después de su desarrollo en Europa y Estados Unidos; llegaron con las primeras líneas de ferrocarril. El primer puente viga se construyó sobre el río Besós en la primera línea española, Barcelona-Mataró, y se terminó en 1850. Los puentes viga metálicos, en celosía, triangulados o de alma llena, se desarrollaron en España durante la segunda mitad del siglo XIX, especialmente en los ferrocarriles, aunque se utilizaron también en carreteras. Muchos de ellos fueron proyectados y construidos por sociedades extranjeras, normalmente asociadas a las compañías concesionarias de los ferrocarriles.

Como visión esquemática de los puentes viga metálicos en España podemos decir que se iniciaron con puentes en celosía y de alma llena. Las primeras celosías eran muy tupidas, formadas por platabandas, en aquel tiempo llamadas llantas, que generalmente tenían ancho variable, aumentando desde los centros del vano hacia los apoyos, siguiendo las leyes de variación del esfuerzo cortante en las vigas. Esta variación es muy patente en el puente de Calasparra sobre el río Mundo, construido en 1893, en el puente sobre el río Velez en la carretera de la costa de la provincia de Málaga[26], o en el viaducto de Ormáiztegui de ferrocarril.



FIG. 11 Puente de las Rochelas en la línea de ferrocarril Lérida-Reus, 1863.

La celosía fue evolucionando, se fue haciendo más abierta, y se fueron sustituyendo las platabandas por perfiles; así son los grandes viaductos de finales del siglo XIX.

Las vigas de alma llena se iniciaron en España casi a la vez que las vigas en celosía y se utilizaron generalmente en puentes de menor tamaño.

Y, por último, aparecieron las vigas trianguladas.

Entre los primeros puentes viga metálicos, se pueden citar dos sobre el río Guadalquivir en la línea de Córdoba a Sevilla construidos en 1859. El primero es el puente de Alcolea, con vigas en celosía y pilas metálicas cilíndricas rellenas de hormigón, solución que se empleó en muchos puentes, tanto de carretera como de ferrocarril. Y el segundo es el de Lora del Río, con ocho vanos de vigas de alma llena de 32 m de luz y pilas análogas a las del anterior.

En la década de los 60 los puentes viga metálicos se generalizaron porque se construyeron muchos kilómetros de líneas de ferrocarril. En 1863 se construyó el puente de las Rochelas en la línea Lérida-Reus, con pilas metálicas trianguladas que parten de unos plintos de piedra. En ese mismo año se terminó el primer puente de carretera en celosía, el de las Mellizas sobre el río Guadalhorce, en la carretera de Málaga a Cádiz, con tres vanos sobre pilas de piedra[27].

También en 1863 se terminó el viaducto de Ormáiztegui en Guipúzcoa, de la Compañía de la Línea General del Norte Madrid-Irún, uno de los más grandes y más conocidos de los viaductos ferroviarios españoles. Tiene cinco vanos, los tres centrales de 60 m y los extremos de 53, con pilas de sillería de más de treinta metros de altura. Lo proyectó y construyó la empresa francesa Batignolles que, con las compañías Fives-Lille, Cail, Schneider y Eiffel et Cie., formaron el grupo de las grandes empresas francesas constructoras de puentes, que tuvieron mucha actividad en España. La construcción se hizo



FIG. 12 Viaducto de Madrid en Redondela en la línea Orense-Vigo, construido en 1872.

por el procedimiento de empuje. Se derribó durante la Guerra Civil cortando dos de los vanos. Para reconstruirlo se añadieron unas pilas nuevas de hormigón en el centro de cada uno de los vanos, reduciendo la luz de ellos aproximadamente a la mitad.

Otros viaductos destacables son los de la línea Córdoba-Málaga, especialmente los del tramo Córdoba-Alora, inaugurado en 1865. El primero de ellos es el puente del Alcaide sobre el río Guadalquivir con cuatro vanos de vigas en celosía. El segundo es el puente sobre el Genil en Puente Genil con tres vanos de gran luz y pilas altas metálicas trianguladas. El cruce de la Serranía de Ronda lo hace por el desfiladero de los Gaitanes del río Guadalhorce, un paso realmente difícil que obligó a una serie de viaductos y túneles; el más importante es el viaducto del Chorro, con un tramo en curva que se resolvió con pilas metálicas trianguladas y vigas en celosía con vanos de luz considerable, que formaban una directriz poligonal en planta, que se corregía con las vías.

En 1866 se terminó el puente de Mérida sobre el río Guadiana en la línea Ciudad Real-Badajoz, uno de los más largos de los puentes metálicos españoles. Era un puente continuo con vigas en celosía con once vanos de 53 m de luz. El puente fue proyectado y construido por ingenieros franceses.

Tres de los mayores viaductos ferroviarios construidos en las líneas españolas se construyeron en Galicia[28]. El primero es el viaducto de Madrid en Redondela, en la línea de Orense a Vigo, construido en 1872, con cinco vanos de 51 m de luz, prolongados con arcos de medio punto de fábrica. Las pilas tienen 24 m de altura y son de fábrica; se construyó, igual que el de Ormáiztegui, empujándolo desde un extremo.

El segundo es el viaducto de Pontevedra que, igual que el anterior, pasa sobre el pueblo de Redondela. Es un viaducto de tres vanos de 46+57+46 m de luz con vigas en celosía más abiertas que el de Madrid y pilas metálicas trianguladas. El proyecto es de 1881, y sigue actualmente en servicio.



FIG. 13 Puente de Tuy sobre el río Miño, construido en 1886.

El tercero es el puente internacional de Tuy sobre el río Miño, entre Tuy y Valença do Miño, para ferrocarril y carretera superpuestos. Tiene cinco vanos, los tres centrales de 66 m y los dos laterales de 60. El canto es de 6,60 m, lo que permite el paso de la carretera por el interior. Se inauguró en 1886 y actualmente sigue en uso para los dos servicios, ferrocarril y carretera.

En Andalucía Oriental se construyeron a finales del siglo XIX varios viaductos ferroviarios de gran envergadura, con vigas en celosía abierta de luces grandes. Entre los de mayor luz se puede destacar el viaducto sobre el río Guadajoz en la línea Puente Genil-Linares, con tres vanos de 64+67+64 m de luz, con pilas metálicas de 28 m de altura; se terminó en 1893. Otro de los grandes es el viaducto sobre el arroyo de las Víboras en la misma línea del anterior. Tiene tres vanos con 73,6+77+73,6 m de luz con una viga análoga a la del puente sobre el Guadajoz pero con pilas de sillería más bajas.

El puente ferroviario de mayor luz del siglo XIX se encuentra en la línea de Linares a Almería, que cruza zonas de orografía dura, lo que obligó a la realización de grandes viaductos[29]. El mayor de ellos es el del Salado, con tres vanos, el central de 105 m de luz, con pilas de sillería de una altura del orden de 75 m, y un tablero en viga continua de ce-



FIG. 14 Puente del Salado en la línea Linares-Almería durante las obras de sustitución del tablero, construido en 1899.

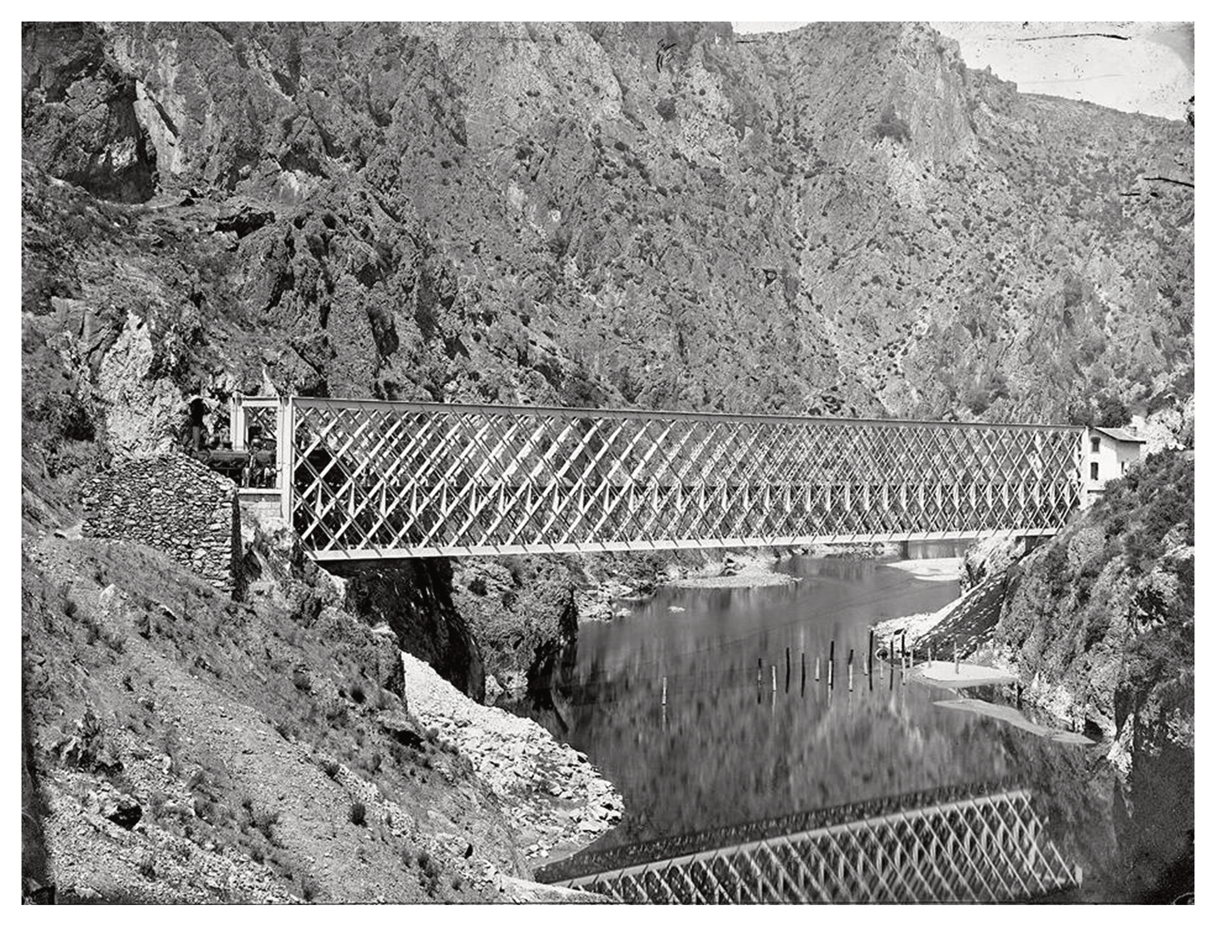


FIG. 15 Puente sobre el Sil en el Estrecho de Cobas. Fotografía de JEAN LAURENT. Archivo Ruiz Vernacci, VN-04327, IPCE. © MECD.

losía abierta en cajón, por cuyo interior circulaba el tren. Se construyó, igual que la mayoría de los grandes viaductos, empujándolo desde un extremo[30]. Había otros viaductos de grandes dimensiones en esta línea, entre ellos el del Anchurón, con cinco vanos de 55 m de luz, con viga continua en celosía abierta, análoga a la del puente del Salado, y pilas de fábrica de 45 m de altura[31]. Otro viaducto de esta línea es el viaducto del Hacho, de más de 600 m de longitud, con luces principales del orden de 50 m y pilas metálicas, probablemente el más largo de los viaductos españoles del siglo XIX. Todos los puentes de esta línea se sustituyeron en los años 70 del siglo XX por falta de capacidad de carga para resistir los trenes de mineral que debían circular por ella.

En 1883 se inauguró la Línea General de Galicia, de los Ferrocarriles de Asturias, Galicia y León, que va por el valle del Sil en un tramo de orografía dura que requirió grandes puentes, como el del Estrecho de Cobas, con un solo vano en viga simplemente apoyada de 100 m de luz; es una celosía abierta en cajón por cuyo interior circulaba el ferrocarril; se sustituyó por un puente de arcos de hormigón.

A finales del siglo XIX se empezaron a construir los llamados puentes de «tipo americano», que eran puentes triangulados con vigas tipo Linville. Entre los más grandes se puede destacar el segundo puente de ferrocarril sobre el Guadiana en Mérida en la línea Mérida-Sevilla, también de gran longitud y con once vanos, igual que el primero. Lo proyectaron y construyeron los ingleses, se terminó en 1879 y actualmente sigue en servi-

cio[32]. Otro puente del mismo tipo es el de Zamora sobre el río Duero, también de ferrocarril, con cinco vanos de 53 m de luz máxima; se terminó en 1896[33].

Puentes con vigas de alma llena, de palastro se llamaban en su época, se construyeron muchos en España, tanto de carretera como de ferrocarril. El primero del que tenemos datos es el ferroviario ya citado de la línea Córdoba-Sevilla en Lora del Río sobre el Guadalquivir construido en 1859, con ocho vanos de 32 m de luz. Sustituyó a un puente anterior de madera hecha con vigas Town que no duró más de un año. Se sustituyó en 1921 por un puente de vigas Linville de 50 m de luz.

El primero de carretera fue el de Vegadeo sobre el río Eo, en la carretera de Oviedo a Lugo. Se publicó en la *Revista de Obras Públicas* en 1861, y es anterior al puente de las Mellizas de Alzola, el primer puente con vigas en celosía para carretera que hemos visto en páginas anteriores. Tiene tres vigas tubulares continuas, según nomenclatura de la época, de 2,5 m de canto, con dos vanos de 39 m de luz, prolongados por detrás de los estribos con ménsulas de 6 m[34].

En los años 60 se construyeron varios puentes de carretera con vigas de alma llena en doble T, con un mismo proyecto, dirigido por Lucio del Valle. Son los puentes de Zuera sobre el río Gállego, con cinco vanos de 30 m de luz; de Encinas de Abajo sobre el Tormes, con 9 vanos de 25 m de luz, ambos con tablero intermedio metálico; y el del arroyo de las Víboras en las carretera de Jaén a Córdoba, con dos vanos de 30 m de luz, con tablero superior de madera[35]. Uno de los puentes de mayor luz de los de alma llena del siglo XIX es el de los Peares en la carretera de Orense a Monforte de Lemos, con un solo vano de 62 m de luz y vigas de alma llena de 5 m de canto.

El más conocido de los puentes de alma llena construidos en España en el siglo XIX, fue el primer viaducto de la calle de Segovia en Madrid. Tenía tres vanos de 54 m de luz y pilas metálicas trianguladas sobre bases de fábrica. Se terminó en 1872 y estuvo en servicio hasta que en los años 30 del siglo XX se sustituyó por el puente de arcos de hormigón que sigue en servicio[36].

Son muchos los puentes de alma llena que se hicieron en los ferrocarriles españoles. Unos de los primeros son los de la línea Madrid-Aranjuez, que se inauguró en 1851 con puentes de madera en los pasos de los ríos Manzanares, Jarama y Tajo, pero se hundieron pronto y se sustituyeron por puentes viga metálicos de alma llena. No conocemos la fecha de su construcción.

De los muchos puentes viga metálicos construidos en España en el siglo XIX, la mayoría se han ido sustituyendo por insuficiencia de capacidad de carga debida al aumento de los pesos de los trenes. Sin embargo se conservan bastantes, unos en servicio y otros fuera de uso, lo que da lugar a un magnífico patrimonio de puentes metálicos en España. Muchos de ellos requieren atención y rehabilitación, porque si no se actúa en ellos, pueden llegar a una situación de deterioro irreversible.

NOTAS

1. HAURI y PETERS, 1979.
2. GIMSING, 1983.
3. SAAVEDRA, 1860.
4. ALZOLA, 1899.
5. IBARRETA, 1880 y 1881.
6. ALZOLA, 1880.
7. TRUEBA, 1870.
8. Sobre la participación de Larramendi y Miranda en la construcción de los primeros puentes colgantes españoles: LÓPEZ, 2001; SÁENZ RIDRUEJO, 1990, pp. 17-49 y 99-120.
9. LÓPEZ GARCÍA, 2001.
10. ANDRÉS, 1989.
11. «El puente colgado de Santa Isabel ...», 1897.
12. «Puente colgado de Dueñas ...», 1898; SÁINZ, 1928.
13. SALLERAS y ESPINOSA, 1994.
14. «Puente colgado sobre el río Alcanadre...», 1897; PANO, 1890.
15. NAVASCUÉS, 2007, pp. 162-168; «Puente movible...», 1888; «El puente Palacio...», 1893; PÉREZ, 1904; SANTANA, 1993; LÓPEZ ECHEVARRIETA, 1993; URUÑUELA, 1993.
16. RIBERA, 1914b.
17. NAVASCUÉS, 2007, pp. 80-81.
18. NAVASCUÉS, 2007, pp. 145-171; IBARRETA, 1876.
19. MENDIZÁBAL, 1853 y 1854; «Puente de Prado...», 1866 y 1897.
20. PANO, 1876.
21. «Incidente...», 1887; ANDRÉS MATEO, 1989.
22. ZAFRA, 1898.
23. ALZOLA, 1880 y 1882.
24. ZUFIAURRE, 1903.
25. RIBERA, 1897 y 1914a.
26. «Puente sobre el río Vélez-Málaga...», 1898.
27. ALZOLA, 1871; «Puente metálico...», 1869; «Puente sobre el Río Guadalhorce...», 1897.
28. ALVARADO *et al.*, 1990, pp. 323-328 y 341-346.
29. CERVANTES, 1897.
30. «Gran viaducto...», 1899; «Viaducto del Salado», 1899.
31. BATANERO *et al.*, 1997.
32. GARCÍA, 2004.
33. ABAD y CHÍAS, 1994.
34. GONZÁLEZ , 1861; AGUILÓ, 2007.
35. VALLE *et al.*, 1865a y b.
36. «Puente en la Calle de Segovia...», 1860; BARRÓN, 1861; MONTERDE, 1872.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD BALBOA, T. y CHÍAS NAVARRO, P. (1994), *Puentes de España*, Madrid, Fomento de Construcciones y Contratas.

AGUILÓ ALONSO, M. (2007), *El carácter de los puentes españoles*, Madrid, ACS, Actividades de Construcción y Servicios.

ALVARADO BLANCO, S., DURÁN FUENTES, M. y NÁRDIZ ORTÍZ, C. (1990), *Puentes históricos de Galicia*, La Coruña, Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y Xunta de Galicia.

ALZOLA Y MINONDO, P. (1871), *Proyecto y construcción de un puente sobre el río Guadalhorce,* Madrid, Imp. Rivadeneyra.

ALZOLA Y MINONDO, P. (1880), «Extracto de la memoria del proyecto de puente de hierro para la ría de Bilbao en San Francisco», *Revista de Obras Públicas,* XXVIII, nº 21, pp. 250-253, nº 22, pp. 265-270, nº 23, pp. 277-280, y nº 24, pp. 289-291.

ALZOLA Y MINONDO, P. (1882), «Montaje del puente de San Francisco sobre la ría de Bilbao», *Revista de Obras Públicas*, XXX, nº 12, pp. 133-134.

ALZOLA Y MINONDO, P. (1899), *Historia de las obras públicas en España*, Bilbao, Imprenta de la Casa de Misericordia (ed. 2001: Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos).

ANDRÉS MATEO, C. (1989), *Puentes históricos de la Comunidad de Madrid,* Madrid, Dirección General de Transportes, Consejería de Política Territorial de la Comunidad de Madrid.

BARRÓN AVIGNON, E. (1861), «Madrid: Prolongación de la calle de Bailén y puente de hierro para la de Segovia», *Revista de Obras Públicas*, IX, nº 18, pp. 217-224, y nº 19, pp. 229-233.

BATANERO, J., RODRÍGUEZ-BORLADO, R., MARTÍNEZ LASHERAS, C. y MOPAS ZANCAJO, C. (1997), «Puentes Anchurón y Gergal», *Informes de la Construcción,* vol. 30, nº 291, pp. 77-92.

CERVANTES PINELO, F. J. (1897), «Línea férrea de Linares a Almería», *Revista de Obras Públicas*, XLIV, nº 1149, pp. 365-368.

«El puente colgado de Santa Isabel (Zaragoza)» (1897), *Revista de Obras Públicas*, XLIV, nº 1119, pp. 205-206, nº 1121, pp. 266-267, 271, y nº 1122, p. 301.

«El puente Palacio en la desembocadura del Nervión» (1893), *La Ilustración Española y Americana*, XXXII, nº 30, pp. 86-88.

GARCÍA MATEO, J. L (dir.) (2004), *Inventario de puentes ferroviarios de España*, Madrid, Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

GIMSING, N. J. (1983), *Cable-Supported Bridges. Concept and design*, Nueva York, John Wiley & Sons.

GONZÁLEZ REGUERAL, S. (1861), «Puente de hierro sobre el río Eo», *Revista de Obras Públicas*, IX, nº 15, pp. 181-189, y nº 16, pp. 193-196.

«Gran viaducto sobre el Salado, en la línea de Linares a Almería. Corrimientos de los tramos metálicos» (1899), *Revista de Obras Públicas*, XLVI, nº 1215, pp. 9-12.

HAURI, H. H. y PETERS, T. F. (1979), *The development of suspension bridges construction from the earliest attempts to the beginnings of the wire cable bridges*, Boston, American Society of Civil Engineers.

IBARRETA FERRER, A. DE (1876), «Proyecto de reconstrucción del puente de Isabel II en Bilbao», *Revista de Obras Públicas*, XXIV, nº 19, pp. 221-225, nº 20, pp. 234-236, nº 21, pp. 244-248, nº 22, pp. 256-261, y nº 23, pp. 268-270.

IBARRETA FERRER, A. DE (1880 y 1881), «Reconstrucción del puente de Burceña en el río Cadagua», *Anales de la Construcción y de la Industria*, V, nº 1, pp. 1-4, nº 12, pp. 177-180, y nº 13, pp. 193-199; y VI, nº 6, pp. 81-85, nº 11, pp. 163-167 y nº 12, pp. 183-187.

«Incidente sobre el puente colgante de Arganda» (1887), *Revista de Obras Públicas*, XXXV, nº 1, pp. 4-5.

LÓPEZ ECHEVARRIETA, A. (1993), *Centenario del puente de Vizcaya*, Bilbao, BBK.

LÓPEZ GARCÍA, M. (2001), «Larramendi y los inicios de los puentes colgantes en España», en VV. AA., *JAFO. Homenaje a José Antonio Fernández Ordóñez*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, pp. 307-322.

MENDIZÁBAL URDANGARÍN, A. (1853), «Puente colgado sobre el río Pisuerga en Valladolid», *Revista de Obras Públicas*, I, nº 12, pp. 154-156.

MENDIZÁBAL URDANGARÍN, A. (1854), «Puente proyectado según el sistema de Vergniais», *Revista de Obras Públicas*, II, nº 5, pp. 65-67.

MONTERDE, A., «Viaducto de la calle de Segovia» (1872), *Revista de Obras Públicas*, XX, nº 3, pp. 32-33.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (2007), *Arquitectura e Ingeniería del hierro en España*, Madrid, Fundación Iberdrola.

PANO RUATA, J. (1876), «Proyecto de puente parabólico de hierro sobre el río Cinca, en Monzón», *Revista de Obras Públicas*, XXIV, nº 9, pp. 97-104, nº 11, pp. 121-124, nº 12, pp. 133-137, y nº 13, pp. 145-152.

PANO RUATA, J. (1890), «Memoria acerca de la sustitución de la estructura de madera por otra de hierro en el puente colgado de Lascellas», *Revista de Obras Públicas*, XXXVIII, nº 17, pp. 264-266, nº 18, pp. 285-287, y nº 19, pp. 296-298.

PÉREZ DE LA SALA, J. (1904), «Puentes transbordadores para grandes vanos utilizados en el cruzamiento de las vías marítimas», *Revista de Obras Públicas*, LII, pp. 301-308 y 375-377.

«Puente colgado de Dueñas, sobre el Pisuerga» (1898), *Revista de Obras Públicas*, XLV, nº1211, pp. 551-552.

«Puente colgado sobre el río Alcanadre en Lascellas (Huesca)» (1897), *Revista de Obras Públicas*, XLIV, nº 1135, pp. 699-700.

«Puente de Prado sobre el río Pisuerga, en Valladolid» (1866), *Revista de Obras Públicas*, XIV, nº 12, pp. 141-144, y nº 14, pp. 165-167.

«Puente de Prado sobre el río Pisuerga, en Valladolid» (1897), *Revista de Obras Públicas*, XLIV, nº 1127, pp. 451-452.

«Puente en la Calle de Segovia de esta corte» (1860), *Revista de Obras Públicas*, VIII, nº 2, pp. 21-22.

«Puente metálico sobre el río Guadalhorce» (1869), *Revista de Obras Públicas*, XVII, nº 5, p. 60.

«Puente movible entre Portugalete y Las Arenas» (1888), *La Ilustración Española y Americana,* XXXII, nº 27, pp. 53 y 62, lám.

«Puente sobre el Río Guadalhorce. Carretera de Cádiz a Málaga (Cádiz)» (1897), *Revista de Obras Públicas*, XLIV, nº 1158, pp. 593-594.

«Puente sobre el río Vélez-Málaga. Carretera de Málaga a Almería» (1898), *Revista de Obras Públicas*, XLV, nº 1186, p. 347, lám.

RIBERA, J. E. (1897), «Grandes viaductos», *Revista de Obras Públicas*, XLIV, nº 1162, pp. 705-709.

RIBERA, J. E. (1914a), «Puente-viaducto de Requejo sobre el Duero, en Pino (Zamora)», *Revista de Obras Públicas*, LXII, nº 2035, pp. 471-475.

RIBERA, J. E. (1914b), «Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)», *Revista de Obras Públicas*, LXII, nº 2039, pp. 527-532, nº 2040, pp. 539-545, y nº 2041, pp. 551-555.

SAAVEDRA Y MORAGAS, E. (1860), «Prueba del puente colgado de Arganda», *Revista de Obras Públicas*, VIII, nº 24, pp. 290-292.

SÁENZ RIDRUEJO, F. (1990), *Ingenieros de caminos del siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SÁINZ RAMÍREZ, J. M. (1928), «Puente de Dueñas», *Revista de Obras Públicas*, LXXVI, nº 2054, pp. 236-240.

SALLERAS, J. y ESPINOSA, R. (1994), *Fraga y el Cinca. Sus puentes y barcas*, Fraga, La Casa de Fraga.

SANTANA EZQUERRA, A. (1993), *Cien años del Puente de Vizcaya,* Bilbao, Diputación Foral de Vizcaya.

TRUEBA, A. (1870), «Puente de Los Fueros», *La Ilustración Española y Americana*, XIV, nº 10, pp. 147-148.

URUÑUELA MARTÍNEZ DE SALINAS, I. (1993), *El puente de Vizcaya en su primer centenario*, Guecho, autor-editor.

VALLE ARANA, L. DEL, MARTÍ FONT, V. y MAYO DE LA FUENTE, Á. (1865a), «Proyecto de un puente de hierro sobre el río Víboras para la carretera de segundo orden de Jaén a Córdoba», *Revista de Obras Públicas*, XIII, nº 16, pp. 199-202.

VALLE ARANA, L. DEL, MARTÍ FONT, V. y MAYO DE LA FUENTE, Á. (1865b), «Proyecto de los tramos de hierro para el Puente de Encinas sobre el río Tormes», *Revista de Obras Públicas*, XIII, nº 18, pp. 224-227.

«Viaducto del Salado» (1899), *Revista de Obras Públicas*, XLVI, nº 1222, pp. 68-74.

ZAFRA ESTEBAN, J. M. DE (1898), «Rotura de una pila tubular de la pasadera del Guadalquivir en Sevilla», *Revista de Obras Públicas*, XLV, nº 1209, pp. 531-538.

ZUFIAURRE GOICOECHEA, S. (1903), «Puente sobre el río Tormes en Salamanca», *Revista de Obras Públicas*, LI, pp. 6-60, 68, 70-76, 78-84, 92 y 93-97.

Volver al índice

3
El Patrimonio arquitectónico de estructura metálica vista en España. Situación, protección, conservación

ALFONSO MUÑOZ COSME
Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Arquitectura. Director del IPCE

Tradicionalmente se ha utilizado el término arquitectura del hierro para designar el conjunto de construcciones de estructura metálica vista, como mercados, estaciones, invernaderos, pabellones de exposición, grandes almacenes o teatros, y por extensión también de obras de ingeniería con estructura de ese tipo, como puentes, viaductos o cargaderos de mineral. Sin embargo, el término no es totalmente apropiado, ya que la estructura resistente de un edificio no puede ser de hierro, metal excesivamente débil para resistir grandes cargas, sino de acero, es decir de una aleación de hierro y carbono, en la que el segundo elemento cambia las características resistentes del primero, confiriéndole una mayor resistencia a tracción y compresión.

La aleación de hierro y carbono se obtuvo durante mucho tiempo a través de la forja, con la repetida exposición de las piezas de hierro a una combustión controlada, que servía también para, mediante la acción mecánica en el yunque, dar a la pieza la forma deseada. En el siglo XIX apareció el sistema de fundición mediante moldes, lo que permitió obtener piezas de una mayor perfección formal, y ya en el siglo XX, con el desarrollo de la industria siderúrgica y la aparición de los altos hornos, el sistema de laminado, en el que se obtienen perfiles de longitud ilimitada. Estos perfiles laminados fueron ensamblados inicialmente mediante roblones, posteriormente con tornillos y actualmente mediante soldadura.

Las obras realizadas con estas técnicas forman un conjunto de realizaciones arquitectónicas e ingenieriles que definen las ciudades y los paisajes de la industrialización. Como escribe Pedro Navascués en el libro *Arquitectura e Ingeniería del hierro en España:* «Las obras en hierro que cruzaron nuestros ríos, las que hicieron más transitables nuestras carreteras, las estaciones de ferrocarril por las que el campo se vació en la ciudad, los mercados que abastecieron a nuestras ciudades, los quioscos de música que sema-



FIG. 1 Estación de Pamplona. Fotografía de JOSÉ MARTÍNEZ SÁNCHEZ. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Ruiz Vernacci. VN-03093.

nalmente amenizaron la vida de los ciudadanos en paseos y alamedas, el ocio vivido en las plazas de toros, circos o frontones de pelota, los muelles portuarios por donde tantas gentes se dijeron adiós o por los que se desangró la riqueza mineral de nuestro país, representan, en fin, una página verdaderamente notable de nuestra historia, que hay que poner junto a las de la literatura, música o pintura de su tiempo».

LA APARICIÓN DE LA ARQUITECTURA DE ESTRUCTURA METÁLICA

Los primeros edificios de estructura de acero aparecen a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, y su uso se extiende precisamente por una característica que más tarde será su principal defecto: su resistencia frente al fuego. Para Henry Russell Hitchcock el puente de Coalbrookdale, construido por Thomas Farnoll Pritchard entre 1777 y 1779 es el primer inmueble en el que el hierro sustituye totalmente a la fábrica. Nikolaus Pevsner, en su *Historia de las tipologías arquitectónicas,* considera el Téâthre Français de Victor Louis, construido entre 1786 y 1791, como el primer edificio con estructura de acero. También cita las fábricas inglesas de la última década del siglo XVIII e iglesias de comienzos del XIX, como la Madelaine de París (1806-1845), la catedral de Southwark en Londres (1822-25), la flecha de la catedral de Rouen (1823-1876), una cúpula de la catedral de Maguncia (1827) o la cubierta de la catedral de Chartres (1836-1838).

Los primeros invernaderos con estructura de acero son construidos a partir de 1815, los mercados en la década de los treinta, y las grandes naves para exposiciones internacionales comienzan a mediados de siglo. El mercado Hungerford en Londres, de Charles Fowler (1830-1833), el Jardin de Plantes de París, de C. F. Brisseau de Mirbel y C. Rouhault (1833-1836), el invernadero de Syon House, de Charles Fowler (1827-1833), el invernadero Chatsworth de Joseph Paxton (1837-1840), la biblioteca de Sainte Gene-



FIG. 2 Estación de Bilbao. Fotografía de JEAN LAURENT. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Ruiz Vernacci. VN-03599.

viève, de Henri Labrouste (1843-1850), la Casa de las Palmeras del Real Jardín Botánico de Kew, de Decimus Burton y Richard Turner (1844-1848), el Crystal Palace de Joseph Paxton (1850-1851) y el mercado de Les Halles de Victor Baltard (1853-1858) son algunos de los hitos constructivos del desarrollo de la estructura metálica, que alcanzaría su mayor símbolo con la construcción de la Torre Eiffel en 1889.

La nueva estructura de acero contaba con notables ventajas con respecto a los edificios tradicionales: su resistencia frente al fuego en las primeras fases de un incendio, su mayor resistencia estática, la posibilidad de construir grandes luces estructurales, la fácil introducción de luz cenital, y la construcción estandarizada mediante ensamblaje de piezas. Sus desventajas eran su mayor coste, su escaso aislamiento y su peligroso comportamiento en los incendios al alcanzarse la temperatura en la que el material adopta el estado plástico. Esta última característica será decisiva para el abandono de estas estructuras a partir de mediados del siglo XX.

La construcción con estructura de acero experimentó un nuevo impulso con la necesidad de reorientar la producción de acero tras las guerras mundiales, especialmente en Estados Unidos a partir de 1945, lo que dio lugar a la producción de numerosos rascacielos de estructura de acero y de programas como las *Case Study Houses* en California en los años cuarenta y cincuenta. En esos años, grandes arquitectos como Mies van der Rohe, Richard Neutra, Charles y Ray Eames, Craig Ellwood o Pierre Koenig crearon célebres viviendas de estructura metálica. Todavía en la década de los años sesenta, Richard

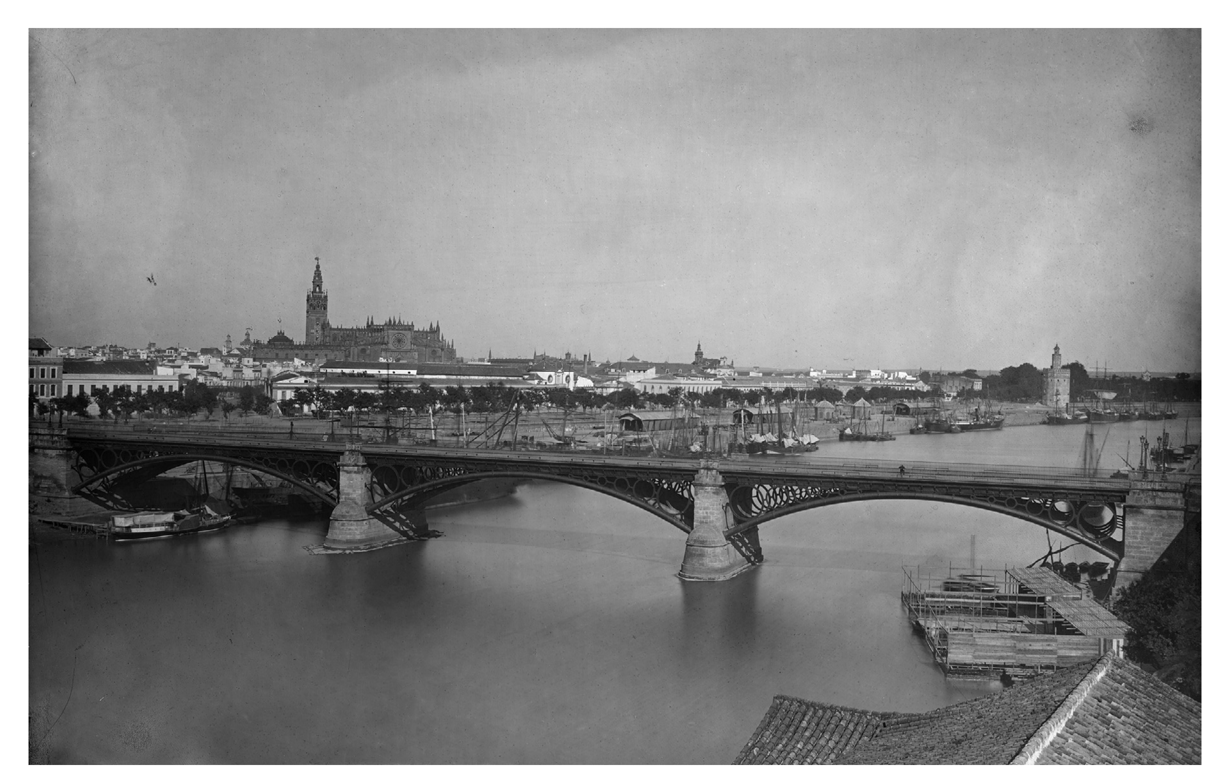


FIG. 3 Puente de Triana, Sevilla. Fotografía de JEAN LAURENT. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Ruiz Vernacci. VN-06345.

Buckminster Fuller proyectó cúpulas geodésicas de estructura metálica. Pero la limitada resistencia ante el fuego obligó a abandonar las estructuras de acero vistas de más de una planta a partir de los años setenta.

LA ARQUITECTURA DE ESTRUCTURA METÁLICA EN ESPAÑA

Si el desarrollo de la arquitectura de estructura metálica en otros países europeos comienza a finales del siglo XVIII o principios del XIX, en España el nuevo tipo de estructura es introducida fundamentalmente con el ferrocarril. Aunque hay algunos ferrocarriles mineros anteriores y la línea La Habana-Güines fue construida en 1836, la primera línea férrea de pasajeros en la península fue la que unió Barcelona con Mataró, en 1848. Posteriormente se construirían la de Madrid-Aranjuez en 1851, la de Gijón-Langreo en 1852, así como la de Valencia-Játiva y la de Jerez-Puerto Real, ambas en 1854.

Pocos años después, en 1856, se crearon las grandes compañías ferroviarias: la Compañía de los Caminos de Hierro del Norte de España y la Madrid-Zaragoza-Alicante. Con ellas llegarán numerosos puentes de estructura de acero y los grandes edificios de estaciones: la Estación de Atocha (1888-1892), la Estación del Norte o Príncipe Pío (1877-1888), la estación de Delicias (1878-1890), la estación del Norte de Valencia (1906-1917), la de Toledo (1916-1917), la estación de Canfranc (1923-1928), la de Francia, en Barcelona (1924-1929), etcétera.

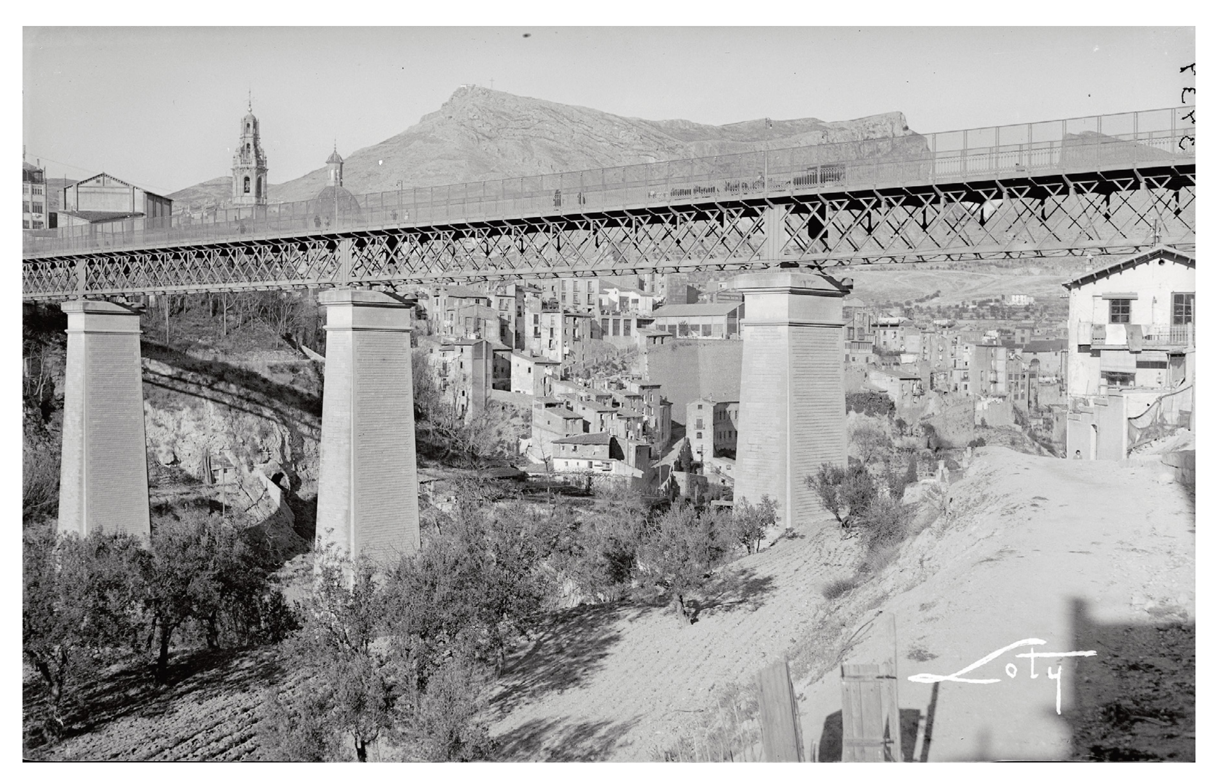


FIG. 4 Viaducto de Canalejas, Alcoy. Fotografía de ANTONIO PASSAPORTE. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Loty. LOTY-08484.

En el último cuarto del siglo XIX se utilizó la estructura de acero para cubrir grandes luces en salas escénicas, como en el Teatro de la Comedia (1875), el Circo Price (1880), o el Teatro de la Princesa (hoy María Guerrero, 1885), todos ellos de Agustín Ortiz de Villajos. También se cubrieron otros espacios interiores de edificios, como los patios del Museo Arqueológico Nacional y los depósitos de la Biblioteca Nacional, en el edificio de Francisco Jareño y Antonio Ruiz de Salces; el vestíbulo de la Escuela de Minas, de Ricardo Velázquez Bosco, la escalera del Palacio Longoria, de José Grases Riera (1902); y la sala del Palau de la Música en Barcelona, de Luis Domènech i Montaner (1905).

Los mercados comenzaron también a utilizar la estructura metálica en el último tercio del siglo XIX, siguiendo los modelos ingleses y parisinos. Así se construyeron los mercados de la Cebada y de los Mostenses, ambos de Mariano Calvo y Pereira (1868-1875), el del Born de Barcelona, de Josep Fontseré y Josep Maria Cornet (1873-1876), el de San Miguel, de Madrid, de Alfonso Dubé y Díez, (1913-1916), o el Central de Valencia, de Alejandro Soler i March y Francisco Guardia Vial (1910-1928).

La estructura metálica se utilizó para nuevos tipos arquitectónicos, creados en el siglo XIX, como los faros de ayuda a la navegación, las plazas de toros, y también para la cobertura de los espacios urbanos denominados pasajes, que tan de moda estuvieron a principios del siglo XX y de los cuales pocos han sobrevivido, entre los que destacan el Pasaje Gutiérrez de Valladolid y el Lodares de Albacete.

Los edificios industriales utilizaron frecuentemente la estructura metálica, como los edificios para Seat en Barcelona y en Madrid, de Manuel Barbero Rebolledo, Rafael Echaide, Rafael de la Joya Castro y César Ortiz-Echague. Algunos pabellones expositivos



FIG. 5 Estatua del teniente Ruiz y fachada del circo Price, Madrid. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Ruiz Vernacci. VN-14666.



FIG. 6 Mercado de la Cebada, Madrid, 1927-1936. Fotografía de ANTONIO PASSAPORTE. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Loty. LOTY-00767.

también la utilizaron, como en el caso del Pabellón de Bruselas, de Corrales y Molezún (1956-1958). Las construcciones desmontables para el Cinerama o la cúpula del Museo Dalí de Figueras, del arquitecto Emilio Pérez Piñero, serán algunas de las últimas obras importantes de estructura vista de acero laminado en España.

La normativa de edificación limitó enormemente la utilización de estructuras de acero vistas a partir de los años setenta. Este proceso comenzó con la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IPF/1974, y continuó con las Normas Básicas de la Edificación sobre «Condiciones de protección contra incendios en los edificios» NBE-CPI/81, NBE-CPI/82 y NBE-CPI/91, haciendo prácticamente inviable cualquier edificación de estructura vista de acero superior a una planta.

Algunos incendios como el sufrido por los Almacenes Arias en Madrid el 4 de septiembre de 1987, en el que murieron diez bomberos, pusieron de manifiesto el riesgo que entrañaban las estructuras de acero en su comportamiento ante el fuego, al debilitarse bruscamente la resistencia cuando alcanzan los elementos estructurales la temperatura que les hace adoptar el estado plástico. La destrucción de las torres gemelas del World Trade Center de Nueva York en 2001, puso de nuevo trágicamente de manifiesto la vulnerabilidad de estas estructuras ante los grandes incendios.

UNA ARQUITECTURA FRÁGIL Y VULNERABLE

La arquitectura de estructura metálica en España ha ocupado, por lo tanto, poco más de un siglo entre mediados del siglo XIX y los años setenta del siglo XX, y en ese tiempo ha producido numerosas obras importantes que pueblan nuestras ciudades. El carácter público de muchas de estas obras y su importancia en la vida cotidiana las han convertido a menudo en símbolo y referente formales en las ciudades. Sin embargo, debido en parte a su corta edad y a su carácter funcional, esta arquitectura ha sido tradicionalmente poco protegida, escasamente valorada y con frecuencia transformada, desfigurada o destruida.

La llamada arquitectura del hierro se ve amenazada por la obsolescencia, al no estar en muchos casos vigentes los usos para los que fue creada, lo que lleva consigo la falta de mantenimiento. También la presión especulativa, los usos inadecuados y muy especialmente la nueva normativa hacen difícilmente recuperables muchos de los inmuebles de este tipo de arquitectura. Todos estos aspectos crean un círculo vicioso, en el que cada factor favorece la aparición de los otros, creando un ciclo de abandono y destrucción de la arquitectura de hierro que lamentablemente ha hecho desaparecer notables ejemplos de este tipo de construcciones.

Numerosos edificios de estructura metálica vista han sido destruidos, como los mercados de la Cebada y de los Mostenses, el frontón Recoletos, el Circo Price, el antiguo Viaducto, todos ellos en Madrid, numerosos edificios industriales, instalaciones mineras, estaciones de ferrocarril, etcétera. La arquitectura de estructura metálica vista se empezó a valorar y a proteger por primera vez en los años setenta del pasado siglo, con la incoación del puente de Triana (1976) y de las estaciones ferroviarias y teatros madrileños (1977). Posteriormente se incoaron otras estaciones y teatros, los mercados y algunos puentes.

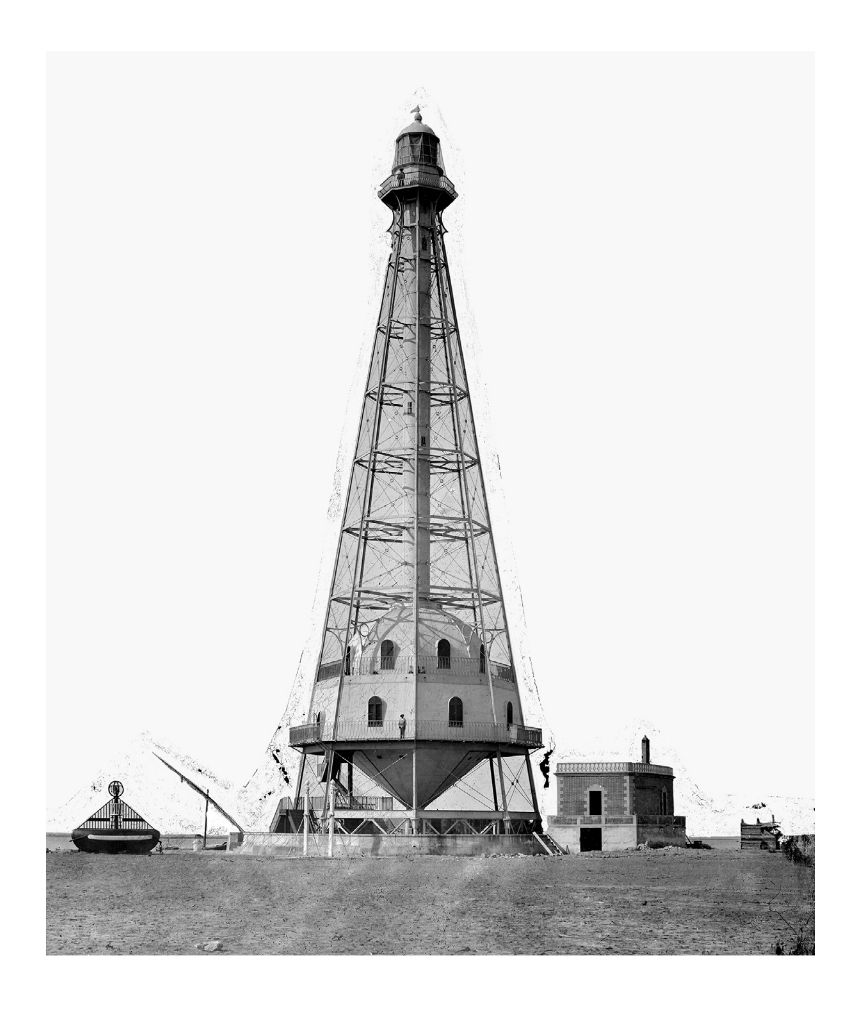


FIG. 7 Faro de Buda, Sant Jaume d'Enveja, Tarragona, 1871. Fotografía de JULIO AINAUD. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Ruiz Vernacci. VN-02904.

La aparición del Plan Nacional de Patrimonio Industrial en el año 2000 marcó un nuevo comienzo. Desde entonces se han declarado numerosos edificios de estructura metálica vista y se han realizado frecuentes rehabilitaciones de este tipo de inmuebles. Actualmente hay declarados un centenar de edificios de estructura metálica, entre ellos once estaciones, doce mercados, treinta y seis edificios mineros, doce puentes y seis fábricas. Por Comunidades Autónomas es Asturias la que cuenta con más elementos declarados, sobre todo instalaciones mineras, seguida de Andalucía y el País Vasco.

Pero ese centenar de elementos declarados es tan solo el 0,6 % de los 16.146 bienes de interés cultural declarados en nuestro país. Un muy somero cálculo hace pensar en que los edificios de valor patrimonial de estructura metálica en España pueden estar cercanos al millar, por lo que se trata de un tipo de arquitectura que tiene desprotegidos alrededor de un 90 % de sus inmuebles patrimonialmente valiosos.

EL CICLO DE RECUPERACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE ESTRUCTURA METÁLICA

Ante el ciclo que amenaza a la arquitectura de hierro, basado en la vulnerabilidad, desprotección, obsolescencia y destrucción, es necesario generar un ciclo inverso, que permita la recuperación de este tipo de arquitectura. Ese ciclo se basa en la utilización

adecuada de los instrumentos que tenemos a nuestra disposición: La Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español, las leyes de las Comunidades Autónomas, los Planes Nacionales de Patrimonio Industrial y de Patrimonio el siglo XX, y la tradición ya consolidada de numerosas buenas prácticas en este campo.

Al círculo vicioso de abandono, falta de mantenimiento, usos inadecuados, presión especulativa y normativa hay que oponer el círculo virtuoso de conservación y recuperación, que pasa por las siguientes fases: protección, plan director, proyecto, rehabilitación y reutilización. El objetivo es hacer posible una conservación sostenible de los inmuebles de estructura metálica.

La primera acción es proceder a solicitar la incoación del expediente de declaración del edificio, infraestructura o conjunto como bien cultural. La mera incoación del expediente ya determina la aplicación de las medidas previstas en la Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español, que establece que el deber de conservación es del propietario, poseedor o titular del bien y la competencia para velar por su protección y correcta conservación de la Comunidad Autónoma, salvo en el caso de bienes de titularidad y gestión estatal.

Una vez el bien está protegido, es necesario pasar a la fase de conservación. En muchos conjuntos y edificios de una cierta magnitud es aconsejable realizar en primer lugar un Plan Director, con el fin de determinar y programar en el tiempo las acciones necesarias. También es siempre necesario hacer un estudio de viabilidad y un plan de gestión, con el fin de asegurarnos una adecuada utilización continua y que la conservación sea sostenible en el tiempo.



FIG. 8 Antigua plaza de toros de Madrid. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Ruiz Vernacci. VN-14704.

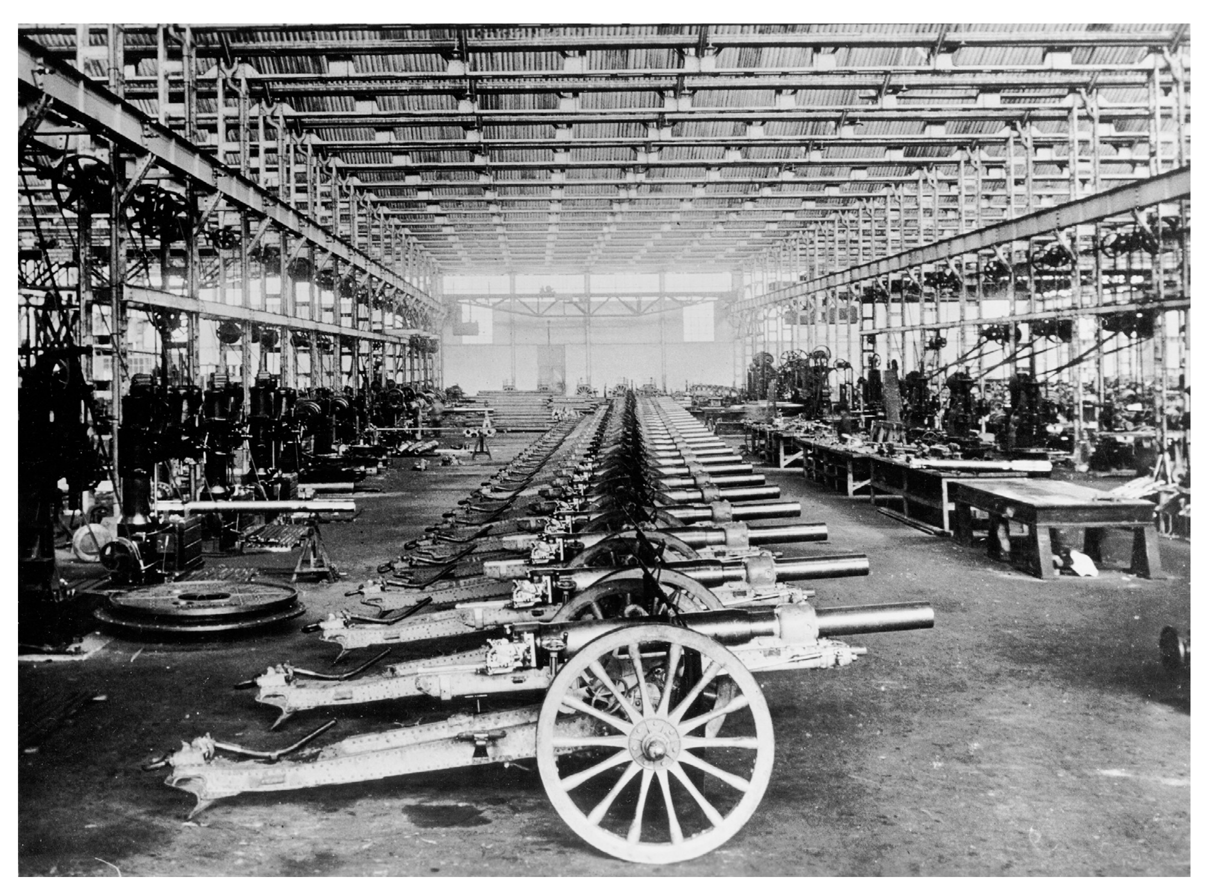


FIG. 9 Vista interior de la fábrica de la Sociedad Española de Construcciones Navales. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Moreno. 41611_B.

En el marco del Plan Director, si es necesario, y tras determinar los usos posibles, su viabilidad y la posterior gestión, se procede a redactar el proyecto de conservación, restauración o rehabilitación y posteriormente a ejecutarlo. Es indispensable que a su término se ponga el inmueble en uso, pues si no es así, el deterioro será muy rápido y la inversión habrá sido inútil.

Aunque siempre es preferible mantener el uso originario, en muchos casos no es posible. En esos casos, la reutilización de esta arquitectura puede ofrecer a la sociedad muchos beneficios, ya que se trata de edificios amplios y versátiles, con mucha superficie y muchas posibilidades, adaptables a cualquier tipo de equipamiento cultural, educativo, social o sanitario. Es necesario, no obstante, asegurarnos de que el uso elegido es compatible funcionalmente con el edificio.

Las actuaciones de conservación o rehabilitación son, en su mayor parte, promovidas por los organismos públicos. Aunque según la Ley de Patrimonio Histórico el deber de conservación es de la propiedad, lo normal es que este tipo de edificios se recuperen para usos públicos y que para ello sean cedidos o vendidos, en caso de ser de propiedad privada, por sus propietarios a los Ayuntamientos o Comunidades Autónomas. También puede darse el caso de rehabilitación por empresas o entidades financieras para sus sedes o para fines culturales o sociales.

Para la recuperación de los edificios, las corporaciones locales pueden contar con la ayuda de las Diputaciones Provinciales. También pueden presentar su proyecto a las con-



FIG. 10 Edificio SEAT, Madrid, 1965. Fotografía de JUAN MIGUEL PANDO BARRERO. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Instituto del Patrimonio Cultural de España. Fototeca del Patrimonio Histórico. Archivo Pando. B-000683.

vocatorias de ayudas del 1,5 % cultural, o pueden solicitar el asesoramiento técnico y la colaboración de la Administración Estatal, concretamente del Instituto del Patrimonio Cultural de España, a través de los Planes Nacionales de Patrimonio Industrial y de Patrimonio del Siglo XX, o del Ministerio de Fomento.

Numerosas son las intervenciones que ya han rehabilitado edificios de estructura metálica vista. Estaciones como la de Valencia, la de Atocha, la del Norte, la de Toledo, la de Ceuta; mercados como el Central y el de Colón, en Valencia, el de San Miguel en Madrid, el de Lanuza, en Zaragoza, castilletes e instalaciones de los pozos mineros asturianos, numerosos puentes en toda la geografía española, el cargadero de mineral conocido como el cable inglés en Almería, y otras muchas estructuras han sido restauradas o rehabilitadas y acogen hoy su uso original u otro nuevo. Son buenos ejemplos de que es posible mantener y conservar esos testimonios de una forma de pensar, construir y utilizar la arquitectura y, a la vez, dar un importante servicio a la sociedad.

Así pues, la conservación y recuperación de la arquitectura de estructura metálica es posible y es necesaria, pero requiere la colaboración de las diversas administraciones, de los propietarios y de los ciudadanos, que pueden iniciar este ciclo solicitando la incoación del expediente de declaración. Conservar la arquitectura del hierro es mantener los testimonios físicos de una época y algunos de los elementos más característicos de nuestras ciudades. Tenemos el derecho de conocer y disfrutar ese importante patrimonio, pero también el deber ciudadano de colaborar activamente en su protección y conservación.

BIBLIOGRAFÍA

BIEL IBÁÑEZ, M. P. y CUETO ALONSO, G. J. (2011), *100 elementos del patrimonio industrial en España*, Madrid, TICCIH España, Instituto del Patrimonio Cultural de España.

HERNANDO, J. (1989), *Arquitectura en España 1770-1900*, Madrid, Cátedra.

HITCHCOCK, H. R. (1985), *Arquitectura de los siglos XIX y XX*, Madrid, Cátedra.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (1993), *Arquitectura española (1808-1914)*, en *Summa Artis*, vol. XXXV, Madrid, Espasa Calpe.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (2007), *Arquitectura e Ingeniería del hierro en España*, Madrid, Fundación Iberdrola.

Orden por la que se aprueba la norma tecnológica de edificación NTE-IPF/1974, «*Instalaciones de protección contra el fuego*». 26/2/1974.

PEVSNER, N. (1979), *Historia de las tipologías arquitectónicas*, Barcelona, Gustavo Gili.

Real Decreto 2059/1981, de 10 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación, «*Condiciones de protección contra incendio en los edificios*».

Real Decreto 1587/1982, de 25 de junio, por el que se modifica la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI-81, sobre condiciones de protección contra incendio en los edificios.

Real Decreto 279/1991, de 1 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI/91, «*Condiciones de protección contra incendios en los edificios*».

VV. AA. (1980), *Arquitecturas de ingenieros, siglos XIX y XX*, Madrid, Ministerio de Cultura, Dirección General del Patrimonio Artístico, Archivos y Museos.

VV. AA. (2001), *Preservación de la arquitectura industrial en Iberoamérica y España*, Sevilla, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

VV. AA. *Plan Nacional de Patrimonio Industrial*. http://ipce.mcu.es/pdfs/PN_PATRIMONIO_INDUSTRIAL.pdf

VV. AA. *Plan Nacional de Patrimonio del siglo XX*. http://ipce.mcu.es/pdfs/PNSigloXX.pdf

Volver al índice

4

El puente de hierro sobre el río Ebro en Logroño

BEGOÑA ARRÚE UGARTE
Universidad de La Rioja

El 16 de septiembre de 2009 se celebró la inauguración del puente de hierro sobre el río Ebro en Logroño, tras las obras de rehabilitación llevadas a cabo por el Gobierno de La Rioja. Este proyecto supuso la revalorización de una empresa de ingeniería nacida en 1881 en el seno de la Dirección General de Obras Públicas, con su director al frente, el ingeniero Eusebio Page y Albareda, y el apoyo directo del presidente del gobierno Práxedes Mateo Sagasta, su amigo y compañero de la promoción de 1849, que había nacido en la localidad riojana de Torrecilla en Cameros en 1825 y se convertiría en el ilustre benefactor de la región. El singular protagonismo de estos dos ingenieros, unido al asesoramiento de José Echeverría Elguero, comisionado en París por los ministerios de Fomento y Ultramar, el trabajo del redactor del proyecto Fermín Manso de Zúñiga, ingeniero jefe de la Rioja Alta, y el apoyo del jefe provincial Javier Huarte-Mendicoa, sin olvidar el quehacer de la Sociedad Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona, dirigida en esas fechas por Ernesto Tous y José María Cornet, y sus ingenieros de montaje, podemos apreciarlo hoy como una coyuntura histórica afortunada que dio lugar a un magnífico exponente de los puentes de viga metálicos y de las realizaciones de la técnica española del momento. Sus dimensiones confirman la importancia del paso sobre el caudaloso río: una longitud total de 444 m, de los que 330,85 m corresponden a la parte metálica [FIG. 1]. Esta se distribuye en once tramos de 30 m de luz sobre diez pares de pilas arriostradas, formadas por tubos cilíndricos de palastro, rellenos al interior de hormigón hidráulico, siendo los estribos de las márgenes de piedra de sillería y la anchura del tablero de 11 m (8 m entre ejes de vigas principales y 1,5 m cada andén volado). El material de hierro alcanzó algo más de 1.118 toneladas, superando la mitad del gasto de más de un millón de pesetas que supuso el total de la obra (1.046.313, 08 pta).



FIG. 1 Puente de hierro sobre el río Ebro en Logroño, margen izquierda, aguas abajo, después de la rehabilitación de 2008-2009.

La oportunidad de elaboración de un estudio histórico del puente, previo y durante el proceso de rehabilitación, permitió la descripción pormenorizada de la gestación e incidencias de su construcción, la aportación de innumerables datos técnicos sobre la ingeniería de la época y el conocimiento de su devenir a lo largo de más de un siglo y cuarto de historia. La información procede de tres archivos fundamentales: el Archivo General de la Administración en Alcalá de Henares, el Arxiu Nacional de Catalunya en Barcelona (Fons Maquinista Terrestre y Marítima) y el Archivo Histórico Provincial de La Rioja en Logroño. En menor medida, del Archivo Municipal de Logroño y del Archivo Histórico Nacional, notándose la ausencia de expedientes más recientes en el Archivo General de La Rioja, al momento de la formalización del estudio. Cabe señalar que la tipología documental es muy variada, no acabando en la importancia de la conservación del proyecto original, sino en una sucesión de escritos generados por las gestiones de la obra, por los propios ingenieros que intervinieron en ella o por las acciones de otras administraciones y particulares afectados. A partir del cotejo de esta diversa documentación se observa un cuadro de relaciones entre la administración estatal y la provincial, establecidas en función de la obra pública, que desborda la imaginación de hoy en día sobre las posibilidades de intercambio de comunicaciones en los años ochenta del siglo XIX, gracias fundamentalmente al telégrafo, cuando en un mismo día se producían las respuestas a cuestiones planteadas, o en menos de dos se formalizaban trabajos de entidad. Bien es cierto que también se constatan lentitudes administrativas y paralizaciones de los trabajos, pero no

muy diferentes a las actuales. El Ministerio de Fomento mantenía informado al gobernador civil y este a la Jefatura Provincial, la cual se encargaba de responder a las solicitudes de la Dirección General de Obras Públicas (en adelante DGOP), que determinaba la elaboración del proyecto, la empresa constructora que lo llevaría a cabo y la responsable del material de hierro. Tanto los organismos señalados, como las empresas y el autor del proyecto, estaban en contacto directo a lo largo del proceso con el ingeniero asesor en París (Echeverría, tal y como firma, pero indistintamente nombrado Echevarría). El proyecto del puente de Logroño, encargado el 5 de abril y firmado el 10 de julio de 1881, obtuvo la aprobación real el 24 de julio de ese año, para su realización por el sistema de administración y presupuesto de 909.837,46 pta. En él se alude a su ceñimiento a la legislación vigente sobre construcción de obras públicas (R. D. de 10 de julio de 1861; R. O. del 16 de julio de 1878 y R. O. de 17 de marzo de 1881).

El inicio de las obras partía de un convenio entre el jefe provincial y el director de la empresa constructora para establecer las bases del suministro de hierro, previa autorización y posterior aprobación por parte de la DGOP. En el acta del convenio firmado en Logroño entre Huarte y Cornet, el 2 de agosto de 1881, se establecía que los derechos de aduanas de la introducción del hierro en España se reintegrarían a la Maquinista Terrestre y Marítima (en adelante MTM); su precio se fijaba en 495 pesetas la tonelada, incluyendo todos los gastos de trasporte, colocación y acabado. Asimismo se fijaba la fecha de conclusión de las obras (15 de enero de 1882) y, entre otras bases de carácter económico, solo una técnica, relativa a la cimentación hasta llegar a terreno firme y consistente.

Comenzados los trabajos, la MTM iniciaba la remisión periódica del material por ferrocarril desde Barcelona, en algunos casos, como las pilas, ya montado. Previamente era inspeccionado en la empresa por un ingeniero nombrado por la DGOP, con la obligación de visitar los talleres al menos dos veces a la semana (Pedro García Faria fue nombrado para el de Logroño en julio de 1881). A su vez, la MTM designaba un encargado del montaje (Juan Escala) para su revisión en Logroño, al mismo tiempo que realizaba pedidos de otro tipo de material, como madera y herraje, a Bilbao, donde otro ingeniero (Antonio Anckermann) se responsabilizaba de su acopio y remisión en vagones a la ciudad. Al parecer, el servicio de mercancías del ferrocarril del Norte no era bueno («no atendiendo sino a los que cuentan con grande influencia», al decir de Anckermann), lo cual generaba retrasos y solicitudes a la Superioridad para su subsanación. Por otro lado, el Gobernador Provincial recababa puntual información sobre las oscilaciones del río Ebro de municipios aguas arriba de la provincia y de la limítrofe de Burgos, para conocer anticipadamente cualquier crecida por pequeña que fuese y salvaguardar los materiales colocados, o acopiados, manteniendo constantemente informada a la Jefatura Provincial. Esta remitía a la DGOP las listas de pago y certificaciones al mes siguiente de ejecución de las labores, cuyo abono fue una preocupación constante, dada su escasa capacidad para el pago mensual de tan excepcional obra, llegando a escribir a Echeverría a París manifestándole dudas concretas sobre la descomposición de los precios y los pagos, y a solicitar que la Dirección General del Tesoro remitiese a otras administraciones económicas próximas, como Bilbao, los fondos necesarios. Eusebio Page lo resolvería librando los pagos correspondientes a la Sociedad contra la Tesorería de Barcelona.



FIG. 2 Vista del río Ebro entre los puentes de hierro y de piedra en Logroño. Tarjeta postal, MANUEL ARRIBAS, 1934. Fondo Fotográfico IER, nº inv. 1.3468.

La documentación generada por la obra hasta aquí reseñada, sin descender a los detallados caracteres de la ingeniería del puente, que los especialistas podrán investigar oportunamente, se multiplicará, ofreciendo una amplia y detallada información sobre diversas materias. A través de las relaciones de remesas de materiales se conocerá la marcha del trabajo en las distintas zonas de construcción, y las necesidades progresivas de piezas de hierro, herramientas y útiles de todo tipo, tornillos, tuercas y roblones, caballetes, gatos, fraguas, cabrestantes, bombas de vapor y centrífugas, equipos de escafandras, locomóvil, etc. Asimismo, las certificaciones mensuales aportarán datos sobre los precios de la época de todo ello y también sobre medios de transporte (caballerías, carros o volquetes), salarios de operarios (peones, braceros, mamposteros, albañiles, herreros y machacadores), u obras de fábrica (excavaciones, estribos, capitel de las pilas, muros de acompañamiento, coronaciones y pretiles, piso y andenes, andamiaje, etc.). Igualmente, conoceremos la litología del cauce del río Ebro y su estratificación (bancos de arenisca y arcilla en capas, según los planos de sondeos efectuados), y la procedencia de otros materiales (tejeras y canteras regionales –Pradillo–, o de localidades próximas –Laguardia, Oyón, Moreda y Viana–; cal de la cordillera de Herrera; cemento de Iraeta o Zumaya; madera de Burgos, El Roncal o Soria). No faltan los gastos que conllevaba el estudio y redacción del proyecto, tanto humanos (delineantes, escribientes y peón), como de oficina (estacas, piezas de tela y papel cuadriculado, resmas de papel de barba para borradores y copias, carpetas, lápices, gomas, etc.).

La construcción del puente logroñés había sido motivada en última instancia por la ampliación y nueva construcción del puente de piedra de la ciudad, incluido en 1844 en el proyecto de carretera de Madrid a Francia por Soria y Logroño, cuyo ensanche provocaría el derribo de las murallas y fortificaciones de la fábrica primitiva de origen medieval. Era el único paso que comunicaba la ciudad con los cultivos y cementerio municipal de

la margen izquierda y con las provincias limítrofes de Álava y Navarra, situadas a escasos kilómetros. Las riadas del Ebro de 1871 y 1881, y sus consecuencias en la reconstrucción del puente habían provocado una situación extrema, solo paliada por las barcas y balsas que cruzaban el río y, finalmente, por un puente provisional de madera, o puente Sagasta, aguas abajo de las obras, el cual se mantuvo en uso hasta la apertura al público del puente de hierro, dos años antes que el de piedra (proyectos de Ricardo Bellsolá y Fermín Manso de Zúñiga, 1882-1884) [FIG. 2]. Desde entonces, el de hierro serviría a la carretera de Logroño a Vitoria. Fue, por tanto, una construcción necesaria, ansiada y admirada en el momento, que, si en principio se gestó con carácter secundario para dar solución al paso del río, terminó siendo definitiva por su repercusión comercial (un ejemplo de ello fue la instalación en 1890 de las Bodegas Franco Españolas en la cabeza de la margen izquierda del puente) y urbanística. La propuesta partió de Page, quien ya concibió su emplazamiento pensando en su prolongación hacia el sur de la ciudad, a enlazar con la calle que se estaba abriendo y la estación de ferrocarril. De este modo, el ensanche de calles (Abades, Portales y Mayor), iniciado por el arquitecto Francisco de Luis y Tomás, terminaría afectando a otro tramo de la ciudad medieval (calle Zurrerías), configurando finalmente la dedicada a Sagasta en 1882, al ser nombrado hijo predilecto de Logroño, por la gestión eficaz para que se construyera «un suntuoso puente de hierro», que había de «poner término a toda clase de eventualidades con gran acrecentamiento de la riqueza pública». El primer estudio del emplazamiento, aguas arriba del puente de piedra, se debe a Huarte, siguiendo indicaciones de Page (altura de rasante a 2 m sobre la crecida del río en 1871) [FIG. 3]. En abril de 1881 ya había recibido Echeverría en París el perfil y dibujos para su análisis, y Page solicitaba al ingeniero Adolfo Ibarreta formar parte de una comisión para el inicio de la obra, con el ánimo de concretar la contratación del material de hierro. Ibarreta, que se encontraba dirigiendo las obras del ferrocarril de Durango, no aceptó pero contribuyó enviando extractos de las pruebas de los palastros y hierros forjados de la casa de «Duisburg». Al mismo tiempo, Manso de Zúñiga comenzaba la formación del proyecto

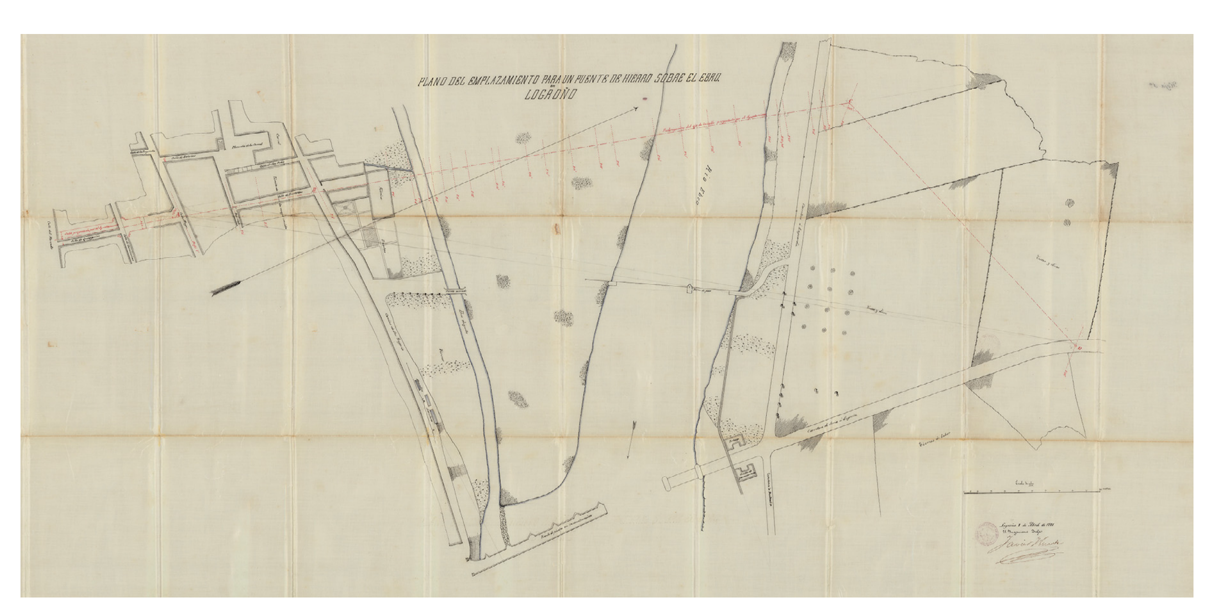


FIG. 3 JAVIER HUARTE, Plano del emplazamiento para un puente de hierro sobre el Ebro. Logroño, 8 de abril de 1881. AHPLR, OP-C-230/03.

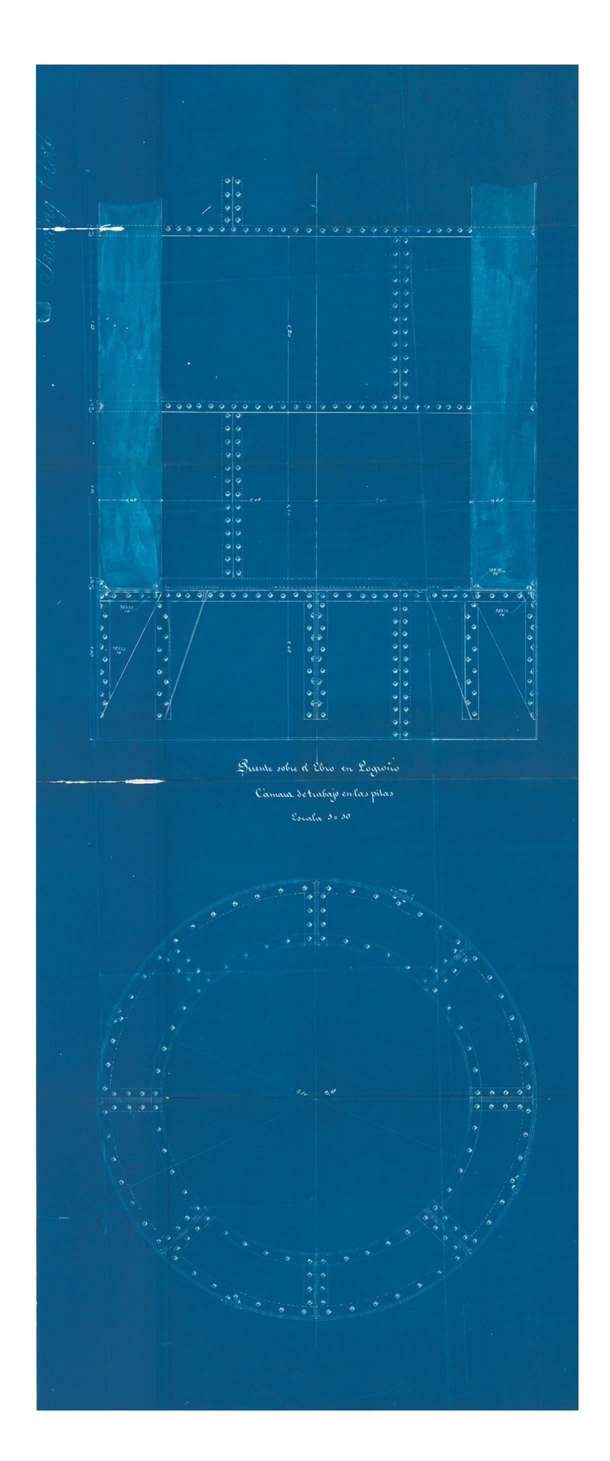
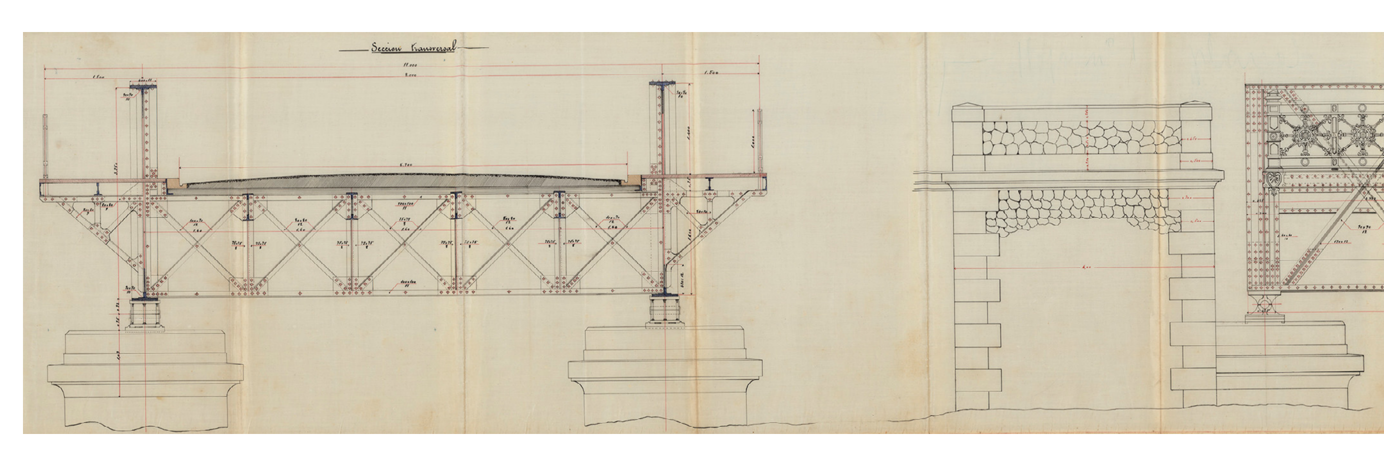


FIG. 4 Plano de la cámara de trabajo para la fundación de las pilas. ANC, Fons Maquinista Terrestre y Marítima, Inv. 1-77, Expediente 40.

y la MTM enviaba un ingeniero a Logroño para la inspección del lugar y elaboración de una propuesta de fundación y diseño general del puente, que inmediatamente comentaría en Madrid con Page y Echeverría, quien debía de estar en aquel momento en la ciudad, transmitiendo el agradecimiento por el encargo y apoyo a una empresa nacional. La urgencia se demostraba a cada paso. Entre abril y junio la empresa elaboró dos anteproyectos de tramos metálicos y pilas, con indicadores técnicos, acompañados de dibujos, croquis y planos (cálculo de cargas y pesos por metro lineal de cada pieza; estudio de momentos de flexión y esfuerzos de cargas y sobrecargas, de acuerdo a los cálculos y método de Bresse; cámaras de trabajo para la cimentación de las pilas por agotamiento, utilizando el antiguo sistema de fundación por pozos; arriostramientos, etc.) [FIG. 4]. A comienzos de julio la Jefatura Provincial había enviado a la DGOP una relación general de todos los tipos de piezas de hierro y su peso, que era necesario importar del extranjero, así como de las máquinas, útiles y aparatos para el montaje del puente. Pese a la extensa documentación, con repetidas menciones a



los barcos de vapor y las aduanas, no se ha podido averiguar todavía la fábrica de origen de este material. Con todos los datos e informes precedentes, Manso de Zúñiga firmó un elaborado proyecto, de extensa y minuciosa memoria, 10 hojas de planos a distintas escalas (tintas/tela), 113 condiciones facultativas, y cuatro capítulos de presupuesto [FIGS. 5 y 6]. El sistema de vigas rectas, continuas, sobre pilas tubulares de palastro y estribos de fábrica, en varios tramos que se correrían mediante rodillos, ya había sido marcado por la DGOP. Las vigas de celosía estarían formadas por dos cabezas horizontales, unidas por montantes y cruces de San Andrés, y se preferían a las de alma llena, que causarían mal efecto en un puente de tal longitud y altura (9,80 m desde la base superior de los tubos hasta la rasante). Dada la naturaleza del lecho del río, que permitía la fundación sin dificultad sobre el banco de roca, se optó por tramos de luces iguales, una vez estudiada la posible economía de otros mayores o menores.

Las obras se iniciaron oficialmente el 5 de agosto de 1881, pero para entonces se había avanzado la ejecución del proyecto con dos replanteos a propuesta de Page: uno referido a la profundización de las fundaciones a más de los 5 m propuestos (que en obra, con su aprobación, fueron inferio-

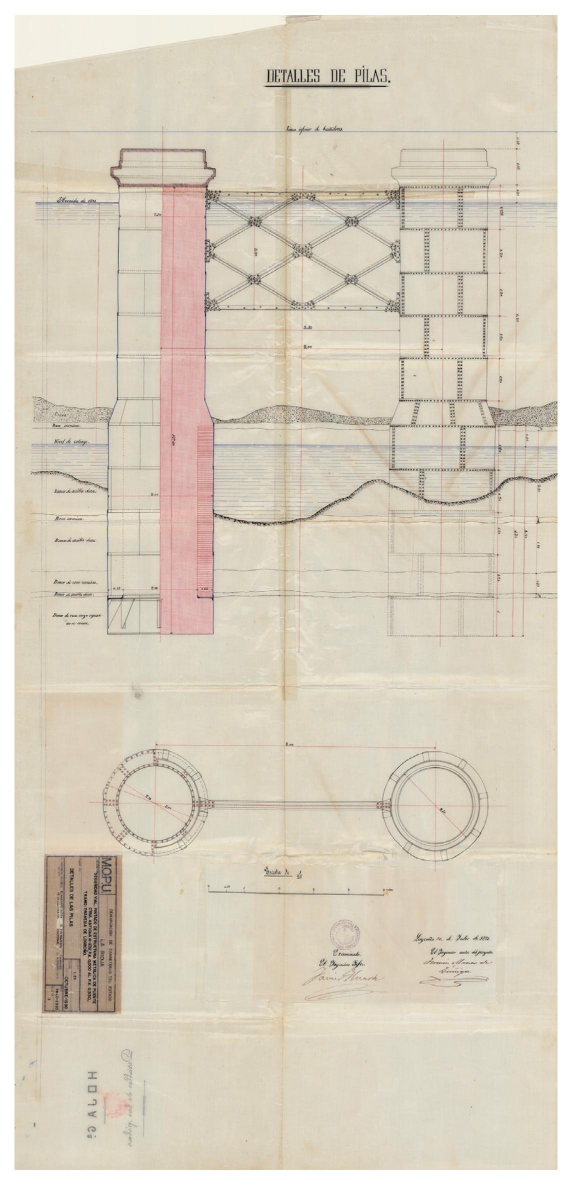


FIG. 6 Plano de detalle de las pilas del puente de hierro sobre el río Ebro en Logroño, 10 de julio de 1881. Proyecto de FERMÍN MANSO DE ZÚÑIGA. AHPLR, OP-C-240/03.

FIG. 5 Sección transversal y detalles de un tramo del puente de hierro sobre el río Ebro en Logroño, 10 de julio de 1881. Proyecto de FERMÍN MANSO DE ZÚÑIGA. AHPLR, OP-C-240/03.

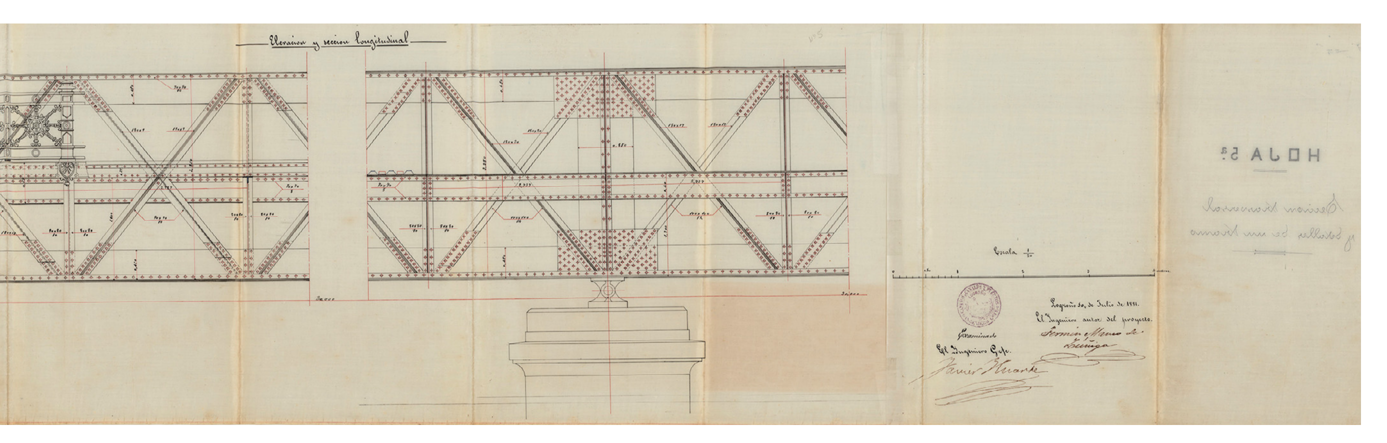




FIG. 7 Detalle del puente de hierro en Logroño, margen derecha, aguas abajo, durante la rehabilitación de 2008-2009. Fotografía M. Turiso.

res –entre 1,28 m y 3,348 m–), y otro al estribo de la margen izquierda, oblicuo al eje del puente, sustituyendo el pontón por una rampa (pontón que curiosamente se ha abierto a finales del siglo XX). La constante preocupación e interés por la empresa que se estaba abordando se manifiesta en el telegrama que Page envió a Huarte el 29 de julio: «Telegrafía a la Maquinista. Haga cuanto proyecto y pida aprobación después. No sé lo que estaré aquí, tal vez marche el día 3. Allí estaré hacia 20. Adelante y no perder un minuto. Clavar las pilas hasta el infinito, de ella depende solidez puente». A pesar del entusiasmo, se produjeron retrasos en los suministros y apremios a la empresa, la cual, defendida por el inspector García Faria, que visitaba la fábrica hasta seis veces a la semana, sustituirá en octubre a Escala por Anckermann, relevado en diciembre por el montador Enrique Planas y este, por Luis Merie en junio de 1882. En enero de ese año se había concertado el final de la obra, pero se concedió a la MTM una prórroga por tres meses para completar la parte metálica y en junio, otra de cuatro meses. Las demoras se originaron por distintos factores, no solo por la tardanza de la llegada de material del extranjero y su trasporte por vapor a Barcelona, las correcciones de medidas en piezas (como las de los anillos de las pilas, por efecto de su hincado), y variaciones en el diseño (vigueta en T para los andenes de hierro laminado, que reducía el roblonado y era más resistente que la de palastro), sino también por la escasez de operarios y falta de medios auxiliares, las dificultades de las certificaciones, la dilatación de las expropiaciones y el retraso de las obras de fábrica de los estribos [FIG. 7]. Por otro lado, el perfil longitudinal de la margen derecha obligó al montaje y corrido de tramos metálicos desde la izquierda, donde la extensión era mayor (la empresa pedía 90 m, y en Logroño se consideraban suficientes 60).

Al año y cuatro meses del inicio de la construcción, en diciembre de 1882, se llevaron a cabo las pruebas de carga de peso muerto (300 kg/m^2), mediante barricas llenas de agua, continuándose con las de peso en movimiento, utilizando carros cargados al máximo. El día 18 se abrió al tránsito y el 20 se firmó la recepción provisional; sin embargo, no se había concluido del todo, faltando la pintura (contratada con el pintor Andrés Sierra) y la ejecución y colocación de unos trozos de barandillas en los extremos, que se completó entre enero y marzo de 1883, concluyéndose el enlosado de aceras en agosto. A propósito de estas barandillas (1 m alto), el dibujo de las piezas de fundición entre montantes ejecutado es diferente al del proyecto, y todo apunta a que la variación se hizo en el seno de la MTM [FIG. 8]. Más importante fue la observación de movimientos de dilatación y contracción en los estribos del puente, especialmente en el de la margen izquierda, aguas arriba, que exigieron la sustitución de las pletinas por un tipo de rodillos, ideado por la propia MTM, hacia octubre de ese año. En julio se había firmado la liquidación de la parte metálica y hasta enero de 1884 se sucedieron otras, derechos de aduanas incluidos.



FIG. 8 Detalle de la barandilla y de una placa de la Maquinista Terrestre y Marítima en el puente de hierro de Logroño, antes de la rehabilitación de 2008-2009. Fotografía M. Turiso.

La historia del puente no acaba en 1884, ni tampoco con lo documentado hasta el momento, pero debemos hacer mención a las obras de mantenimiento de esta obra pública, vigilada por un peón caminero, ayudante o sobrestante, bajo las órdenes del ingeniero encargado de la carretera, al menos hasta 1910. Su tablero recibiría un tendido telefónico y una tubería de conducción de gas para el alumbrado público en 1896, y un tendido eléctrico en 1899. La parte metálica se pintaría de nuevo en 1892. Sin embargo, pasados veintitrés años, se observó que la obra presentaba oxidaciones de importancia con pérdida de espesor en los hierros, debidas a no haber sido pintada con la frecuencia que requería [FIG. 9]. Esta problemática, tan habitual en los puentes metálicos, se subsanó



FIG. 9 Detalle del tablero y andenes del puente de hierro de Logroño, durante la rehabilitación de 2008-2009.



FIG. 10 Vista parcial del puente de hierro, en Logroño, después de la rehabilitación de 2008-2009.

en 1916 con la ejecución de dos nuevos proyectos, elaborados por Jorge Palomo, uno de reparación de los montantes, acoplando planchas laterales, y otro de pintura. Los colores proyectados, con indicación pormenorizada de su composición, han servido de base a los utilizados en la rehabilitación de 2009, dirigida por el jefe del Servicio de Carreteras de la Consejería de Obras Públicas José Miguel Mateo Valerio y llevada a cabo por la Empresa Eurocontratas S. A.: «gris hierro» en la estructura metálica, montantes y pasamanos de la barandilla; «gris blanco plata» en las piezas restantes de las barandillas, y «gris piedra» en las pilas tubulares [FIG. 10]. En 1932 se abordó un nuevo proyecto de pintura, firmado por Feliciano Enríquez Contra, y de mediados del siglo XX debe de ser la unificación del color del puente, que se mantuvo, asimismo, en la pintura de color gris de 1990. De igual modo, se produjeron cambios en la instalación eléctrica y luminaria hacia 1959 y en 1994. Tampoco hay que olvidar otras obras municipales generadas a propósito del nuevo puente, como la casa del fielato y la comunicación de la calle Sagasta con la calle del Norte, aprovechando el paso inferior del estribo de la margen derecha. En la izquierda, se construyó un malecón de unión entre ambos puentes, el de piedra y el de hierro (idea de Page, llevada a efecto por Cesáreo Moroy entre 1887 y 1891).

Con la recuperación de los valores históricos y estéticos de este puente la memoria nos devuelve el recuerdo de otra obra, perdida en 1998, el puente sobre el río Cidacos en Calahorra, en la carretera de Pancorbo a Zaragoza, próximo a la catedral. Se trataba de otra obra metálica proyectada por José Echeverría en 1863 (ejecutada por la Sociedad belga John Cockerill & Co., de Seraing, bajo la dirección de George François, entre 1866 y 1868), pero no la única en la región anterior a su intervención en el puente de hierro,

ya que en la misma fecha firmó en París otro proyecto de puente sobre el río Iregua para la carretera de primer orden de Soria a Logroño (El Montión, Villoslada). Su emplazamiento y sencillez condujo al sistema de viga recta de alma llena, en lugar de la celosía de los de Calahorra y Logroño. Pero no serían los primeros ejemplos en la región de la década de los sesenta del siglo XIX, momento de desarrollo de la red viaria española, bien constatado en las obras públicas provinciales. En 1861 Adolfo Ibarreta propondrá un puente metálico, sobre el río Cidacos, formando parte del trazado de un túnel (Peña Rajona, Arnedillo), cuyo sistema se dejó a elección de la Comisión de Puentes de Hierro, presidida por Lucio del Valle. Terminado en 1869, fue rehabilitado en 2011. Ninguno de los tres citados alcanzó la envergadura del logroñés, del que todavía quedan muchas relaciones por investigar. Así, el modelo general de pilas cilíndricas en hierro y arriostradas, utilizado en puentes franceses en la década de 1850, bien con viga de alma llena (Moulins sobre el Allier; Argenteuil sobre el Sena) o de celosía (Culoz sobre el Ródano –de tres pilas–), y también en puentes ferroviarios y de carretera españoles (Lora del Río, Navia, Alcolea), sin entrar en la variantes de celosía o en las barandillas de hierro fundido, «de fantasía» como dirá Alzola, y elementos de este tipo, sobre cuyo estudio llamó la atención el profesor Navascués en el curso, y que, siguiendo el mismo diseño del logroñés coronaron el puente de San Pablo en Burgos, y hoy podemos ver en los puentes posteriores de Aranda de Duero y de Hendaya-Irún sobre el Bidasoa. La historia de estas construcciones, por tanto, debe continuar para contribuir poco a poco al mejor conocimiento y conservación de este extraordinario patrimonio.

BIBLIOGRAFÍA

ALZOLA Y MINONDO, P. (1881), «Proyecto de puente de hierro para la ría de Bilbao en San Francisco», en *Anales de Obras Públicas. Memorias y documentos referentes a la ciencia del ingeniero y al arte de las construcciones*, Madrid, Aridau y Cía., t. IX, nº 14, pp. 5-75.

ALZOLA Y MINONDO, P. (1899), *Historia de las obras públicas en España*, Bilbao, Imprenta de la Casa de Misericordia (ed. 1979: Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Turner).

ARRÚE UGARTE, B. y MOYA VALGAÑÓN, J. G. (coords.) (1998), *Catálogo de Puentes anteriores a 1800. La Rioja*, Logroño, Gobierno de La Rioja, Instituto de Estudios Riojanos, Ministerio de Fomento, CEDEX-CEHOPU, 2 vols.

ARRÚE UGARTE, B. *et al.* (2011), *El puente de hierro de Logroño: Sagasta y las obras públicas en el siglo XIX*, Logroño, Fundación Práxedes Mateo-Sagasta, Instituto de Estudios Riojanos.

CASTILLO YURRITA, A. DEL (1955), *La Maquinista Terrestre y Marítima, personaje histórico (1855-1955)*, Barcelona, Seix Barral.

CERRILLO RUBIO, M. I. (1993), *La formación de la ciudad contemporánea. Logroño entre 1850 y 1936: desarrollo urbanístico y tipologías arquitectónicas*. Logroño, Instituto de Estudios Riojanos.

FERNÁNDEZ CASADO, C., *La arquitectura del ingeniero*, Madrid, Alfaguara, cap. V [1955], pp. 279-285.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (1980), «La arquitectura del hierro en España durante el siglo XIX», *Construcción, Arquitectura, Urbanismo (CAU)*, Barcelona, pp. 42-64.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (1997), *Arquitectura española (1808-1914),* en *Summa Artis*, vol. XXXV, Madrid, Espasa Calpe.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (2007), *Arquitectura e Ingeniería del hierro en España*, Madrid, Fundación Iberdrola.

SÁENZ RIDRUEJO, F. (1990), *Ingenieros de caminos del siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Volver al índice

5

Tres hitos del hierro en la Ría de Bilbao. El puente de Udondo, el muelle de Portugalete y el puente transbordador Vizcaya

JOAQUÍN CÁRCAMO MARTÍNEZ
Aparejador

IÑAKI URIARTE PALACIOS
Arquitecto

INTRODUCCIÓN

En este elogio a la construcción metálica se relatan tres singulares obras públicas vinculadas a la ingeniería del hierro situadas en la ría de Bilbao, en un espacio fluvial muy próximo entre ellas, creadas en un intervalo temporal corto, entre 1845 y 1893, que con diferentes funciones son de las más notables del País Vasco a pesar de que tengan muy diferente grado de reconocimiento popular.

Se exponen en orden cronológico, que además de ser el de la innovación tecnológica, de algún modo es también el secuencial en el sentido de expansión urbanística de una villa cuyo histórico puerto fluvial interior se irá desplazando paulatinamente como consecuencia de la gran implantación industrial en su cauce hasta trasladarse a su desembocadura en la mar.

Se trata del puente de Udondo como continuación estructural parcial del puente de Isabel II junto al centro histórico de Bilbao, del muelle de hierro de Portugalete y del puente transbordador Vizcaya entre Portugalete y Getxo, que se analizan bajo tres aspectos fundamentales:

Innovación, ya que representan momentos culminantes de la utilización constructiva de la fundición, del hierro y del acero sucesivamente.

Patrimonio, como notable legado cultural debido a sus valores históricos, tecnológicos, urbanísticos, sociales y formales.

Paisaje, dado que por sus características y emplazamiento constituyen memorables hitos singulares en el escenario fluvial.

Tres obras históricas proyectadas por célebres arquitectos e ingenieros, de las que describimos la génesis de su concepción e implantación: pragmático en el puente de Udondo



FIG. 1 Plano de 1901, vista parcial, de la desembocadura de la ría de Bilbao con la situación de las tres estructuras. De izquierda a derecha, el muelle de hierro de Portugalete, el puente transbordador Vizcaya y el puente de Udondo (I.Uriarte).

como reutilización de elementos estructurales, audaz y eficaz el muelle de hierro, y pionero en su tipo el puente transbordador. Se contempla su incidencia en el ámbito de las comunicaciones, la navegabilidad y la movilidad social, así como sus cualidades constructivas con su evolución hasta la actualidad. Asimismo, se expone con un propósito divulgador la crítica de las intervenciones realizadas y omisiones protectoras sucedidas en ellos.

Marco Vitruvio Polion, arquitecto romano (siglo I a.C.) proponía en su tratado *De Architectura*, que la arquitectura se fundamenta en tres principios básicos, *Venustas* (belleza), *Firmitas* (firmeza) y *Utilitas* (utilidad).

En las tres obras se verifican estas cualidades consecuencia de una ingeniería muy refinada en la que a la precisión del cálculo para la función a desempeñar, le acompañaba una sencillez expresiva dotada de una innata belleza que como ejemplar herencia cultural podemos, afortunadamente, hoy en día contemplar después de casi 170 años.

EL LUGAR

El carácter navegable de la ría es debido exclusivamente a la influencia de la marea, a pesar de que en ella confluirán, aguas abajo, cuatro ríos más, el Kadagua y Galindo, por la izquierda, y el Asua y Udondo-Gobela por la derecha. Su curso es sinuoso, con dos orientaciones predominantes norte-sur y este-oeste, y de progresivas anchuras muy diversas entre su inicio, 50 m, y su desembocadura, 140 m, con una zona de especial sobreancho de 300 m entre Sestao y Erandio.

Las posibilidades de navegación, refugio y atraque en la ría, hasta los muelles en el centro de la villa, la gigantesca exportación del mineral de hierro a partir del final de la Segunda Guerra Carlista en 1876, la gran industrialización, especialmente siderúrgica,

metalúrgica y naval, con la innovación que supuso la aplicación del vapor a la navegación y la construcción de embarcaciones de hierro, facilitaron la entrada de buques cada vez mayores. Ello a su vez exigió dragados en el cauce fluvial para garantizar un calado regular y seguro y grandes obras de infraestructura: encauzamiento, corrección de curvas, diques y muelles para acogerlos.

PUENTE DE ISABEL II / PUENTE DE UDONDO

En el actual emplazamiento del puente del Arenal, a 650 m aguas abajo del histórico puente de San Antón, que ya existía en la fundación de la villa en 1300, se inició en 1845 la construcción del puente de Isabel II. El puente ha sido trascendental en el urbanismo de Bilbao uniendo dos núcleos de población entonces distintos: el Arenal de Bilbao junto al centro histórico, en la margen derecha de la villa, y los parajes de Ripa y Albia en la anteiglesia de Abando, entidad municipal independiente, lo que significó un vínculo de anexión fáctica y preludio como puerta del Ensanche a partir de 1876.

El proyecto del nuevo puente de cinco ojos se presentó por el arquitecto Antonio de Goicoechea en el Ayuntamiento de Bilbao en mayo de 1844, aunque el plano que conocemos es el aprobado por la Junta Consultiva del Gobierno en febrero de 1845, que man-

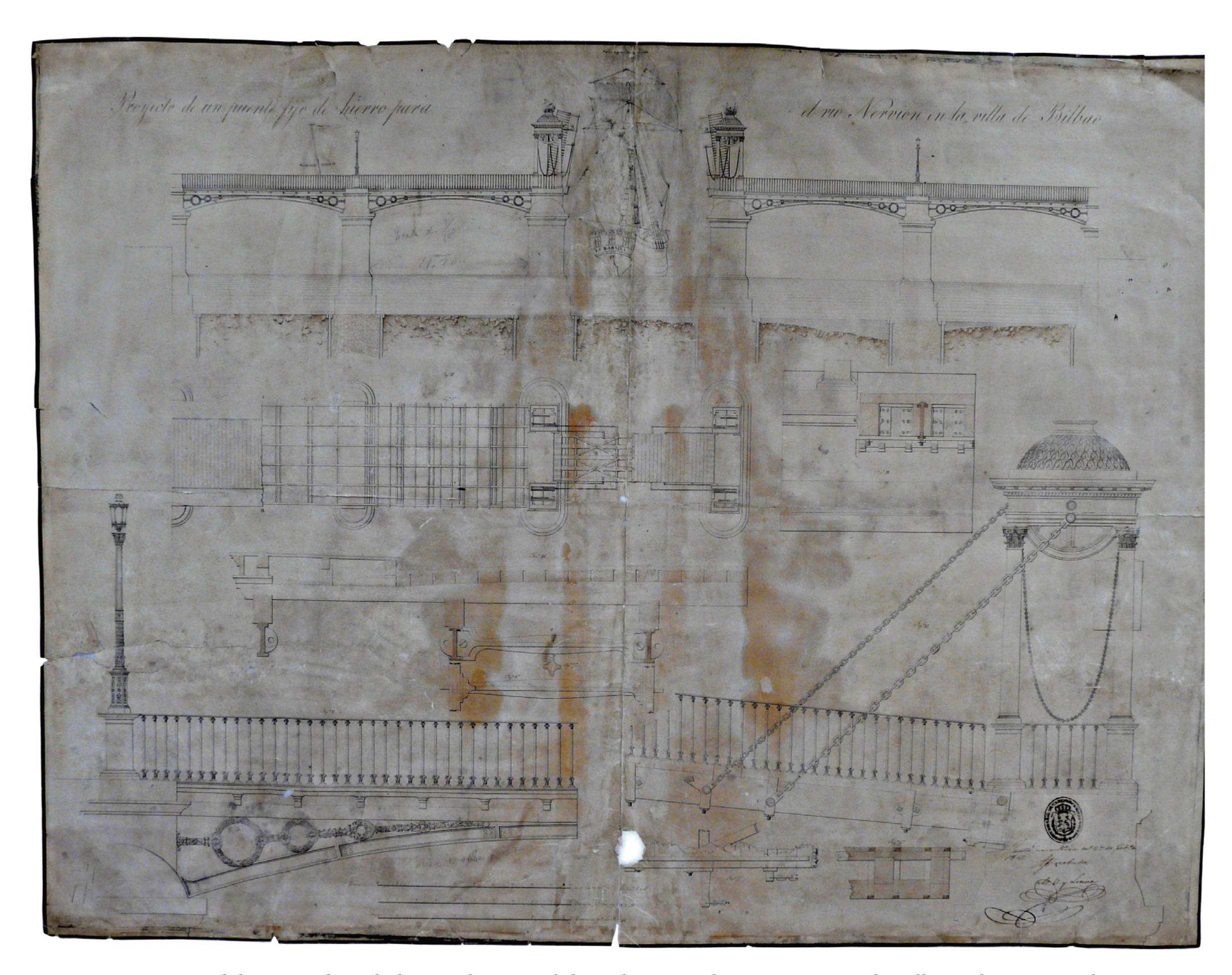


FIG. 2 Proyecto del puente de Isabel II. Archivo Foral de Bizkaia. Fondo Ayuntamiento de Bilbao. Planos y Bandos 0084.



FIG. 3 El puente de Udondo en la actualidad, visto desde la ría de Bilbao. Fotografía J. Cárcamo.

tiene los cuatro arcos de hierro fundido de 11 metros de luz sobre la ría y otros tres pequeños arcos secos, pero incorpora algunas modificaciones como la sustitución del arco central fijo por uno móvil de hojas levadizas. Apoyados sobre los estribos y pilas de piedra, los arcos están formados por seis cuchillos fuertemente arriostrados entre sí; cada uno de los cuchillos se compone de un arco inferior formado por cinco dovelas de sección en doble T ensambladas conjuntamente con los arriostramientos transversales, una viga superior para el apoyo del tablero de madera y una sucesión de tres anillos circulares de distintos diámetros en cada tímpano, tangentes a ambas piezas y arriostrados entre sí mediante cordones; todo ello ensamblado de modo que el conjunto constituía un verdadero mecanismo desmontable. Los novedosos arcos metálicos proceden de la primera fundición moderna vizcaína, Santa Ana de Bolueta, en Bilbao. La construcción del puente, de iniciativa privada y peaje, se inició en 1845, siendo inaugurado el 23 de enero de 1848, y la dirección de las obras recayó en el ingeniero de caminos Pedro Celestino Espinosa (1814-1887).

En los años posteriores el puente sufrió diversos deterioros, que se acentuaron en 1874 durante el sitio de la villa en la Guerra Civil, a consecuencia de las bombas y sobre todo del embate de las aguas, quedando inutilizable y obligando a su urgente sustitución, que sería realizada entre 1875 y 1878 por un nuevo puente de piedra proyectado por el ingeniero liberal Adolfo de Ibarreta (1829-1893).

El puente se creía totalmente desaparecido hasta que hace unos años (véase la bibliografía) se redescubrió uno de sus arcos reutilizado en un pequeño puente situado en la desembocadura de un afluente de la ría de Bilbao, el Udondo, sito en el municipio de Leioa, en un lugar más cercano al puerto exterior. El ingeniero Pascual Landa (1846-?), jefe de Obras Públicas, había solicitado al Ayuntamiento de Bilbao en 1876 la cesión de uno de los arcos para reconstruir el pequeño puente dinamitado por las tropas carlistas y allí permaneció desde entonces en uso y olvidado.

En la actualidad, al haberse ensanchado la carretera hace unas décadas, el puente tiene adosado aguas arriba otro moderno, formado por vigas de hormigón pretensado. El puente de fundición carece del tablero original, estando el actual formado por una losa de hormigón armado. La estructura metálica se halla aparentemente en razonables condiciones a pesar de continuar aún hoy en servicio en una carretera de intenso tráfico propiedad del Puerto de Bilbao (Ministerio de Fomento), aunque denota escaso mantenimiento y sería deseable la reconsideración de su uso y la realización de una seria rehabilitación científica. La Asociación Vasca de Patrimonio Industrial y Obra Pública ha solicitado al Ayuntamiento, al Gobierno Vasco y al Ministerio de Cultura su protección legal, dada su importancia técnica e histórica, ya que además Bilbao perdió casi todos sus puentes urbanos al ser dinamitados en 1937 durante la Guerra Civil.



FIG. 4 El puente de Udondo en la actualidad. Detalle de la estructura. Fotografía J. Cárcamo.

Pese a no haberse conservado íntegro el puente de hierro de Isabel II, el arco de Udondo es una magnífica y auténtica muestra del estado de la técnica, la industria y la ingeniería del hierro a mediados del siglo XIX. «Al menos de este puente metálico resta la historia, una excelente pintura y este vestigio que otros muchos puentes quisieran para sí» ha escrito el profesor Navascués. En lo formal remite al puente del Carrousel parisino (Polonceau, 1831-1834), origen del puente de Isabel II o de Triana de Sevilla (Bernadet y Steinacher, 1844-1852), aunque las dovelas de los arcos del puente de Bilbao son de fundición maciza sin relleno de madera y en este aspecto técnico debiéramos buscar referencias en el primer puente importante de fundición conformado por dovelas y con anillos en los tímpanos, el Wearmouth Bridge de Sunderland (Paine/Wilson/Burdon, 1793-1796). En el aspecto industrial, cabe reseñar que por lo que hoy conocemos las primeras grandes piezas de hierro fundidas para un puente en España fueron las columnas del puente colgante de Fuentidueña de Tajo, Madrid, realizadas por Bonaplata (*El Eco del Comercio*, 12/08/1842).

MUELLE DE HIERRO DE PORTUGALETE

Al inicio del último tercio del siglo XIX, en la cuenca vizcaína se inicia la explotación intensiva del mineral de hierro con destino a la exportación a través de los cargaderos ubicados en las poblaciones de la margen izquierda de la ría, a los que afluían los cinco ferrocarriles mineros construidos o en desarrollo. Sin embargo, el lugar donde confluye el cauce fluvial con la mar sometido a la carrera de mareas y las corrientes marinas su-



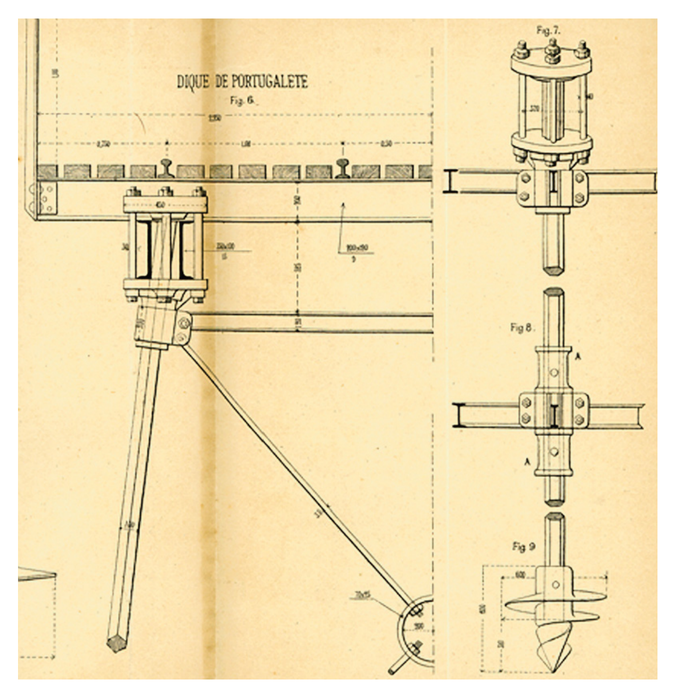


FIG. 5 Arriba, el muelle de hierro de Portugalete en una postal de comienzos del siglo XX (colección J. Cárcamo), y abajo, detalles constructivos de la estructura (J. E. RIBERA, 1895).

ponía un peligroso tramo para la navegación, conocido históricamente como la barra de Portugalete, una temible barrera formada por el depósito aleatorio de arenas móviles y erráticas que impedía el tránsito de embarcaciones hacia los muelles del interior de la ría que en la época se situaban hasta el Arenal de Bilbao.

En 1877 se constituye la Junta de Obras del Puerto que, en uno de sus primeros actos, nombra director facultativo de las obras al entonces joven ingeniero de caminos Evaristo de Churruca y Brunet (1841-1917). Churruca identifica los cinco principales

defectos que impedían la navegabilidad portuaria y decide otorgar prioridad a la resolución del problema de la barra de Portugalete. En 1878, la barra dejaba 1,14 m de profundidad en bajamar lo que limitaba el tránsito y calado de los barcos. Churruca, como resultado de su experiencia e intuición, de la observación en otros estuarios de los regímenes marítimos y fluviales, de exhaustivos y rigurosos estudios analizando todas las obras y proyectos realizados en la ría desde el siglo XV, se decidió por la construcción de un dique de encauzamiento semisumergido que corrigiera la marea entrante encauzando la corriente para lograr un autodragado, desechando, por razones económicas y de plazo, la construcción de un gran dique rompeolas exterior. Las obras se desarrollaron entre 1881 y 1887, y, al finalizarse las mismas, consiguió un canal constante de 80 m de anchura con profundidad mínima de 4,58 m en bajamar, y en pleamar el paso de buques de 7 m de calado, 90 m de eslora y 3.500 T.

La escasez de dinero y tiempo que le hace renunciar al rompeolas, será el condicionante que definirá también el proyecto. Los ochocientos metros del muelle –o dique– que tiene una leve curvatura de tres mil metros de radio, se forman a partir de tres elementos: una estructura metálica cimentada sobre pilotes de rosca, una base de escollera con los taludes apropiados, enrasada al nivel de la bajamar equinoccial y, por último, un macizo de hormigón de 4,20 m de altura sobre dicha bajamar, apoyado sobre la escollera y encajado entre los pilotes metálicos de la estructura. En el transcurso de la obra Churruca se decide a introducir una modificación en el proyecto para su refuerzo; esta consiste en la sustitución de la estructura metálica en los últimos doscientos metros por un perfil macizo formado por paramentos de bloques de hormigón y relleno asimismo de hormigón.

Churruca se decanta por la adopción de la estructura metálica sobre pilotes de rosca tipo Mitchell por la facilidad y economía de colocación que le ofrece el sistema y porque le va a permitir abordar la construcción del dique desde tierra. La estructura original del muelle de Portugalete fue construida por La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona, y tanto los pilotes de hierro dulce como, muy probablemente, las roscas y otros elementos complementarios fueron suministrados, como revelan las siglas HC&S resaltadas en estos y aún perceptibles, por la empresa Hawks Crawshay & Sons de Gateshead (Inglaterra). El muelle de hierro se construyó por avances sucesivos desde tierra, a partir del procedimiento utilizado en el muelle de Courtown en Irlanda, perfeccionado por Churruca. Este consistía en una vagoneta que circulaba sobre carriles y con una estructura volada hacia adelante para la guía y sujeción de los pilotes del pórtico siguiente. Desde el muelle ya construido se vertía la escollera que se asentaba progresivamente y finalmente se ejecutaba el macizo de hormigón. En la fase final, se ejecutaron los últimos doscientos metros del dique modificados. Remitimos al lector a la bibliografía en cuanto al proceso y los detalles de la construcción se refiere.

El muelle experimenta su mayor transformación entre los años 1933 y 1935 en los que se sustituye el piso de madera del paseo superior por una losa de hormigón armado y se eliminan todos los arriostramientos en cruz de San Andrés inferiores protegiendo y reforzando los pilotes metálicos recubriéndolos de hormigón. En las últimas décadas, algunas edificaciones colindantes han afectado asimismo a la integridad y la fuerza expresiva del muelle.



FIG. 6 La barandilla histórica eliminada (izquierda) y la nueva de acero inoxidable (derecha). Detalles. Fotografías J. Cárcamo.

Más recientemente, durante los años 2007 y 2008, la Autoridad Portuaria procede a eliminar el revestimiento de hormigón de la mayor parte de los pilotes recuperando así parcialmente el aspecto original del muelle. Sin embargo, las obras ejecutadas durante los años 2010 y 2011 han supuesto la eliminación de la histórica barandilla de Churruca de perfiles pintados, incorporando otra tubular de acero inoxidable de diseño ajeno y la sustitución de una gran parte de la estructura portante del tablero y de arriostramiento, de perfiles laminados. Al tiempo, no se ha recuperado el tablero original de madera, ni el significativo pilón izquierdo de fundición del inicio del muelle desaparecido y tampoco se ha intervenido sobre los metros finales de la estructura metálica ni sobre los últimos doscientos metros del dique. Es de lamentar la inexistencia de un plan director previo de carácter interdisciplinar, máxime cuando el muelle goza tanto de protección municipal como de la máxima protección legal como bien de interés cultural, por la Resolución de 2 de febrero de 2011, de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales (BOE nº 47 de 24/02/2011).

El muelle de Churruca constituye en su superestructura, como muelle de hierro, una de las escasas supervivencias –junto a los tres muelles onuvenses: los mineros de las compañías de Rio Tinto y Tharsis y el civil de La Rábida– de la eficaz tipología de los pilotes de rosca que tantos ejemplos tuvo en las costas y ríos españoles. En su función de dique, tanto en su parte sumergida como en su remate final emergente, es una magnífica muestra del progreso técnico y de la lucha constante de la Humanidad por vencer los grandes obstáculos de la Naturaleza.

Evaristo de Churruca condujo la corriente, manejó la marea, apaciguó la mar.

PUENTE TRANSBORDADOR VIZCAYA

Patentado como «Puente movible para el cruce de la Ría de Bilbao entre Portugalete y Las Arenas», su enunciado, muy explícito, está manifestando la necesidad de un sistema

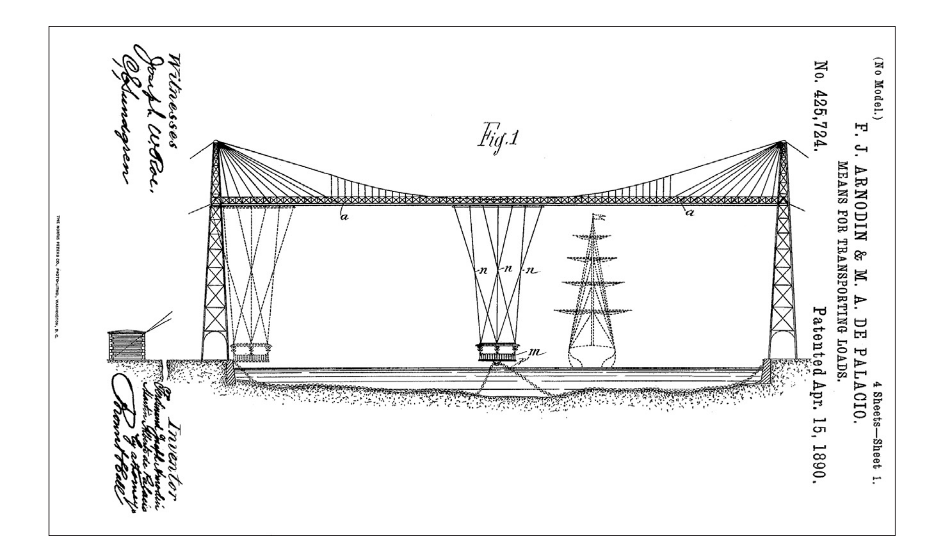


FIG. 7 Patente conjunta en los Estados Unidos de Arnodin y De Palacio, N.º 425,724 fechada el 15 de abril de 1890. (https://www.google.com/patents/US425724).

para cruzar la ría, ya en su desembocadura, entre estos dos núcleos urbanos que a finales del siglo XIX empezaban a tener un importante crecimiento demográfico, especialmente por la instauración de la costumbre del veraneo. La comunicación más inmediata entre ambas márgenes para las personas era mediante el cruce de la ría con un servicio de botes. Y para tránsitos rodados el puente más próximo desde 1848 era el puente de Isabel II o puente del Arenal en Bilbao a más de 12 km.

El arquitecto vasco Alberto de Palacio y Elisague (1856-1939) estudió varias soluciones al problema, decidiéndose finalmente por la de un «puente transbordador». En sentido estricto no se trata de un puente, sino de una barquilla suspendida mediante cables cruzados de un carro móvil, el cual se desliza por los carriles dispuestos en la viga superior –también atirantada y colgada mediante cables– de una gran estructura metálica porticada.

La estructura proyectada, además de la celosía de perfiles laminados, incorporaba cables y, a pesar de que los dos primeros puentes colgantes españoles habían sido construidos bastantes años antes en Burceña y Bilbao, el dominio técnico-empresarial de esta tipología en Europa estaba en manos del ingeniero y empresario francés Ferdinand Arnodin (1845-1924), quien había incorporado al diseño de los puentes colgantes varias mejoras técnicas: unas vigas-barandillas de rigidez, un sistema mixto de tirantes y péndolas, el concepto de la sustituibilidad permanente de piezas y cables o «amovilidad» y los cables «sistema Arnodin» de doble torsión. Podríamos decir que su componente de transbordador se debe a De Palacio y el concepto de puente colgante a Arnodin. Su construcción supone la culminación de la voluntad de tres personalidades de ámbitos necesariamente complementarios: el sueño del arquitecto, que realiza el ingeniero y financia el empresario Santos López de Letona (1842-1925).

El historiador Alberto Santana nos desveló el trasfondo de la relación entre De Palacio y Arnodin al descubrirnos que la solicitud de patente del puente fue presentada simultáneamente por ambos técnicos, en París y Bilbao a las 11 horas del 5 de noviembre de 1887 al parecer bajo un contrato mutuo secreto. Recientemente ha ampliado su investigación sobre la aún poco conocida figura de De Palacio (véase bibliografía) desvelando el registro conjunto presentado por ambos en Gran Bretaña en 1887. Aportamos aquí



FIG. 8 La viga superior original del puente Vizcaya en una postal de hacia 1900. Colección J. Cárcamo.

un nuevo documento, la patente, también conjunta, presentada en Estados Unidos con fecha 15 de abril de 1890 en la que informan sobre las realizadas previamente en Francia, España, Gran Bretaña y Bélgica. Arnodin presentó y obtuvo en solitario una nueva patente en Estados Unidos el 20 de agosto de 1901.

La construcción del puente, que se realizó entre 1890 y 1893, no estuvo exenta de problemas y disensiones, lo que provocó la continua intervención mediadora del reputado ingeniero francés Aquille Brüll, de tal forma que a Brüll se le puede considerar en cierto modo coautor del proyecto de ejecución.

La viga superior del puente, que posee una luz de 160 m y deja un gálibo de navegación de 45 m sobre la pleamar, se apoya sobre dos pilas dobles, una en cada margen, y colgaba originalmente de un doble sistema de cables atirantados desde las cabezas de las torres y de péndolas, soportadas estas por los ocho cables que forman la catenaria entre dichas torres y están anclados en macizos dispuestos a 110 m de ellas en ambas orillas.

En cuanto al aspecto formal, De Palacio en 1888 sobre su proyecto escribe: «El ideal de toda construcción consiste en lograr que no haya un solo átomo de materia que no preste todo su concurso para coadyuvar al fin que se le destina. Fundados en este principio de justa economía desecharemos de nuestro sistema todos aquellos elementos inútiles dejando en él los puramente indispensables para la resolución del problema». Está proclamando un lenguaje que en la actualidad definimos como minimalista y que tiene su expresión concreta en el puente con la ausencia de cualquier elemento ornamental excepto algún detalle historicista de revivalismo gótico propio de la época en los arcos carpaneles de unión de las dos torres de cada lado y en las bases de los cuatro lados de cada una de las torres del pórtico.

El cambio estructural más importante en toda la historia del puente y la única interrupción, obligada, del servicio, estuvieron provocados por la Guerra Civil, ya que el 16

de junio de 1937 se produjo una voladura controlada del anclaje de los cables lo que provocó el desplome de la viga sobre el cauce. El proyecto de reconstrucción le fue encargado al ingeniero José Juan-Aracil Segura (1906-1982), que por entonces se ocupaba de la reconstrucción de los puentes de Bilbao, quien eliminó los tirantes y adoptó una celosía Warren de 3 m de canto. Otras modificaciones relevantes han afectado en distintos momentos al sistema propulsor, a la barquilla, que ha sufrido sucesivas sustituciones o, más recientemente, a la incorporación de sistemas de iluminación con motivo de su centenario.



FIG. 9 Trabajos en la estructura del puente durante la intervención de 2011. Fotografía J. Cárcamo.

La concesión inicial por cien años caducó en diciembre de 1995, siendo a partir de esa fecha cuando se hizo cargo la actual empresa concesionaria, la cual, con la intención de incorporar la explotación turística del monumento, abordó en 1998-1999 una importante transformación que afectaba por un lado al puente en sí, fundamentalmente con la sustitución del carro y el sistema motor, la incorporación de dos ascensores y la habilitación de una pasarela accesible en la viga superior y, por otro, a los embarcaderos y salas de espera en ambas márgenes y a la barquilla que de nuevo fue sustituida.

En 2010 se realiza una nueva intervención considerada «la mayor desde su reconstrucción tras la Guerra Civil» con trabajos de sustitución de partes de la estructura roblonada por elementos nuevos mediante la utilización del oxicorte y la soldadura, se modifica de nuevo el carro, se sustituye el tradicional color negro por otro denominado «Vena Hematites Roja de Somorrostro» elegido por votación popular entre tres propuestas, se remodelan los ascensores y, por último, se colocan a la intemperie en la plaza del puente de Las Arenas, en la que se encuentra el busto de Alberto de Palacio, componentes originales del monumento en parterres dispuestos al efecto.

El Puente Vizcaya ya fue declarado monumento histórico por el Ministerio de Cultura, declaración asumida por el Gobierno Vasco en 1984 y actualizada en 2003, con la incorporación del régimen de protección. El 12 de julio de 2006 fue declarado por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad. La candidatura logró el primer reconocimiento para un monumento vasco y el primero también de carácter industrial contemporáneo en la larga lista del patrimonio mundial español, nuevo estatus que le otorga valor universal y premia la creatividad técnica, la satisfactoria relación entre forma y función y el precursor inicio de un nuevo tipo de puentes.

La importancia excepcional del Puente Vizcaya debe medirse no solo como elemento superviviente de la ingeniería del siglo XIX, sino sobre todo como iniciador –desde el siderúrgico País Vasco– de una tipología constructiva que tuvo su continuidad tanto en

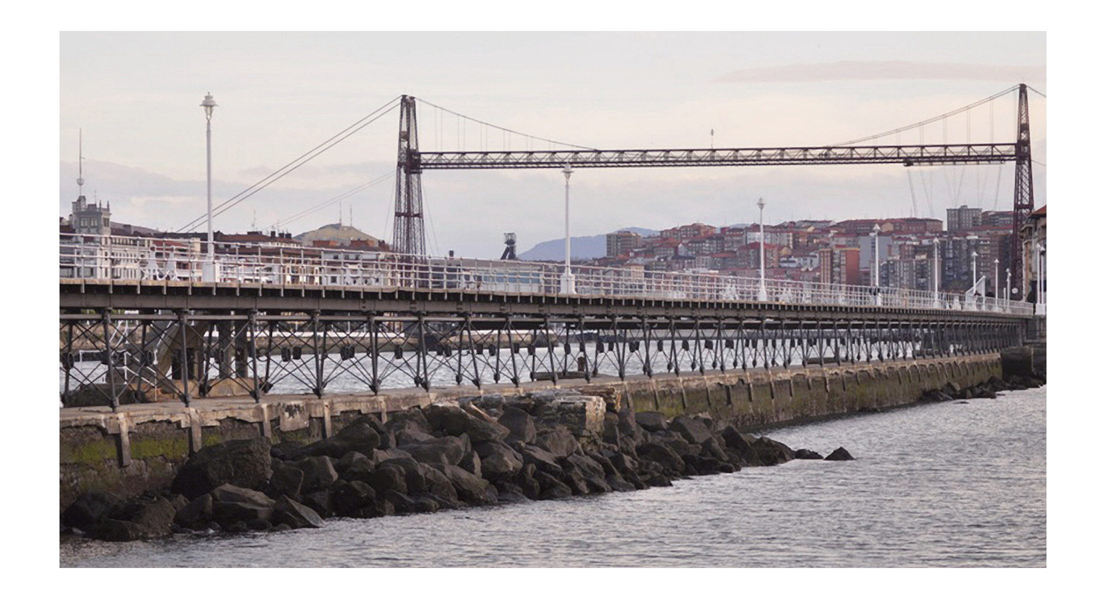


FIG. 10
El muelle de hierro de Portugalete y el puente transbordador Vizcaya. Fotografía I. Uriarte.

Europa como en América y en el norte de África. Solo cabe esperar que el reconocimiento otorgado por la UNESCO suponga en el futuro una garantía adicional para la preservación de sus importantes valores.

CONCLUSIONES

Bilbao no puede ser comprendido sin explicar la trascendental importancia que en su configuración tiene el carácter navegable de la ría, muy próxima a una extensa cuenca minera de hierro de extraordinaria calidad que motivó, en un territorio de tradición ferrona, el asentamiento siderúrgico, metalúrgico y naval. Los puentes de Bilbao representan nexos de desarrollo urbano y períodos concretos de la actividad portuaria. Cada nuevo puente ha cerrado un tramo a la navegación y a su vez el situado aguas arriba ha abierto una nueva era urbana en la villa con el radical cambio de uso de sus espacios de ribera creando renovados parajes y paisajes públicos.

La síntesis de este ámbito fluvial, en la navegabilidad y el urbanismo, se expresa de modo monumental en la desembocadura de la ría en la mar, el Abra, con las obras púbicas descritas muy próximas de extraordinaria importancia y belleza, propias de un período de gran creatividad, riqueza y pujanza. Hitos de una era industrial y suprema culminación del arte del hierro, que solemnizan el paisaje fluvial: el puente trasbordador Vizcaya, la gran puerta de Bilbao a la mar y el muelle de hierro para vencer la navegabilidad de la ría.

Si el puente, muestra de capacidad tecnológica al servicio de la funcionalidad, representa el dominio transversal de la ría, el muelle de hierro como victoria sobre la corriente fluvial, supone el dominio longitudinal. Ambas obras crean singulares lugares en su sentido espacial y antropológico.

Este es el notable legado cultural de la ingeniería metálica que a pesar de todas las circunstancias adversas, con el reciente casi absoluto desmantelamiento industrial, todavía hoy podemos contemplar en un cauce al que propiamente se puede denominar *Ría de Hierro*.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILÓ, M. (2007), «La obra favorita de… El muelle de hierro de Portugalete», *Revista Fomento*, pp. 80-85.

ARNODIN, F. (1894), *Notice sur le pont a transbordeur ou voie ferrée a rails supérieurs Système F. Arnodin et A. de Palacio pour la traversée des passes maritimes*, Orleans, Imp. G. Jacob.

CÁRCAMO MARTÍNEZ, J. (2006), «La segunda vida del puente de Isabel II», *Periódico Bilbao*, nº 210, p. 9.

CÁRCAMO MARTÍNEZ, J. (2011), «Puente Vizcaya y Muelle de Churruca. Intervenir en el patrimonio del hierro», *Arquitectura industrial. Restauración y conservación en tiempos de crisis*, *Abaco* nº 70, pp. 67-74.

CÁRCAMO MARTÍNEZ, J. (2012), «Vizcaya Zubia / Puente Vizcaya», *Euskadiko Industria Ondarea - Patrimonio Industrial en el País Vasco*, EKOB nº 6, Vitoria-Gasteiz, Departamento de Cultura del Gobierno Vasco, pp. 618-622.

Churruca y el puerto de Bilbao, Homenaje a Churruca (1909/10), Bilbao, Emeterio Verdes.

JUAN-ARACIL, J. (1941), «El puente Vizcaya», *Revista de Obras Públicas*, nº 2716, pp. 324-326.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (1980), «La arquitectura del hierro en España durante el siglo XIX», *Construcción, Arquitectura, Urbanismo (CAU)*, nº 65, pp. 42-64.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (2007), *Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936)*, Madrid, Fundación Iberdrola.

RIBERA DUTASTE, J. E. (1895), *Puentes de hierro económicos, muelles y faros, sobre palizadas y pilotes metálicos*, Madrid, Bally-Bailliere e Hijos.

RUI-WAMBA MARTIJA, J. (2006), «El puente colgante de Bizkaia: reflexiones de un ingeniero», *Fabrikart*, nº 6, pp. 16-35.

SANTANA EZQUERRA, A. (1993), «Puente Vizcaya, 1893-1993, la construcción de una leyenda», *Cien años del puente Bizkaia*, Bilbao, Diputación Foral de Bizkaia, pp. 11-38.

SANTANA EZQUERRA, A., *One Hit Wonder. El «Puente Vizcaya» en la obra de Alberto de Palacio Elissagüe*. (Presentación en Power Point de la conferencia pronunciada en el Museo Marítimo Ría de Bilbao el día 22 de enero de 2015). En línea, consultado 20 de noviembre de 2015. https://www.academia.edu/10309877/One_Hit_Wonder._El_Puente_Vizcaya_en_la_obra_de_Alberto_de_Palacio_Elissag%C3%BCe

TEJERA Y MAGNIN, L. DE LA (1896), *Puente transbordador sistema Palacio: memoria descriptiva*, Madrid, Impr. del Memorial de Ingenieros.

URIARTE PALACIOS, I. (2004), «Metamorfosis del espacio portuario fluvial de Bilbao», *Portus*, nº 7, pp. 20-31.

URIARTE PALACIOS, I. (2005), «Bilbao, una ría de hierro», *Estuarium. Área Metropolitana de Lisboa*, nº 12, pp. 5-8.

URIARTE PALACIOS, I. (2009), «Les ponts de Bilbao. Dominatión fluviale, navigabilité et urbanité», en *La métropole des infrastructure*s, París, pp. 228-233.

Volver al índice

6
Gustave Eiffel (1832-1923)

JAVIER MANTEROLA
Ingeniero de Caminos

Gustave Alexandre Eiffel fue un formidable empresario de la construcción que creó una sociedad, G. Eiffel et Cie., que adquirió una excelente precisión en el manejo de estructuras metálicas, con piezas exactas y precisas necesarias para ejecutar construcciones bulonadas con enorme rapidez y exactitud. Su desarrollo fue formidable y su prestigio como constructor se extendió por toda Europa.

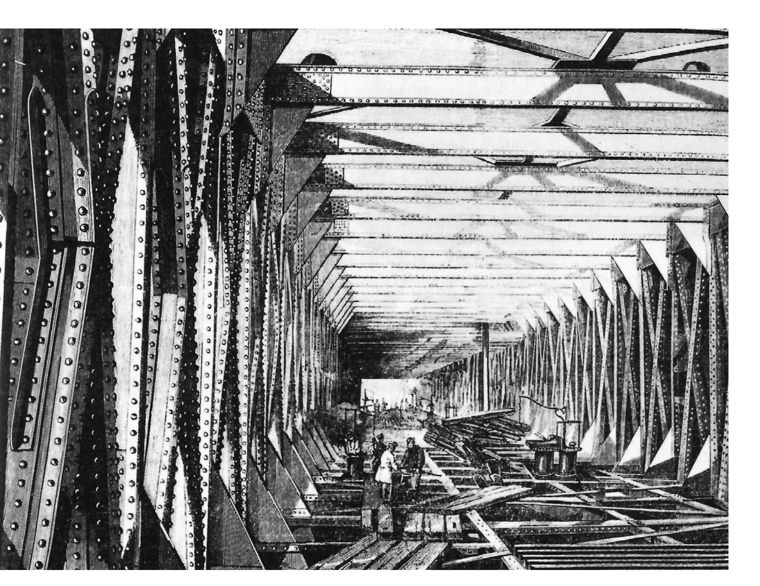
Aún es frecuente oír en España que un puente metálico del XIX es obra de Eiffel como también se dice de cualquier puente de piedra que es un puente romano.

«Eiffel confía hasta el absurdo en sus propios poderes, hombre de negocios sin excesivos escrúpulos... Se apropia de las ideas de sus colaboradores...»[1]. En el fondo parece que Eiffel no diseñó nada de lo que se le atribuye, pero llevó a cabo, con rapidez y maestría, la realización de las ideas geniales de sus propios colaboradores [FIG. 1].



FIG. 1 Gustave Eiffel.

Eiffel nació el 15 de diciembre de 1832 en Dijon. El padre, François Alexandre, es un solitario, celoso e imaginativo diletante. Su madre, Catherine Moneuse, es realista y autoritaria. Tiene sentido del dinero, de los negocios, de la ambición y del esfuerzo.




FIGS. 2a y 2b Puente ferroviario de Burdeos (Francia) y puente carretero-ferroviario de Viana do Castelo (Portugal).

Por dos veces se presenta a examen en la Politécnica, donde es suspendido, y tiene que cambiar a una menos prestigiosa Escuela Central de Artes y Oficios, donde se imparten clases de metalurgia, mecánica, construcción civil y química. Eiffel elige la química con la intención de suceder a su abuelo Mollerat en la dirección de la fábrica de Ponilly-sur-Saône, pero finalmente no lo consigue. Cambia de carrera y se orienta hacia la de construcción metálica.

Eiffel conoce a Charles Nepveu, constructor, amigo de Léon Molinos y Henri de Dion (autor de la estructura de la Estacion de Atocha de Madrid), y amplía sus contactos, haciéndose indispensable para Nepveu, hasta que la empresa fracasa.

Eiffel busca trabajo, y después de una serie de vicisitudes lo encuentra en la Compañía de Ferrocarriles del Oeste, donde conoce a Eugène Flachat, técnico de primerísimo orden, precursor en Francia de las construcciones de hierro laminado ensambladas mediante roblones.

Pronto le encargan la construcción del puente de Burdeos [FIG. 2a], que realiza con suma maestría. Allí es donde verdaderamente aprende el oficio de empresario y cuando empieza a establecer relaciones determinantes para el futuro, entre ellas con Wilhelm Nordling. Para la cimentación utiliza pilotes metálicos de gran diámetro, ayudándose de aire comprimido para la excavación. Después procede al hormigonado del mismo, método de construcción de cimentaciones en el que es un verdadero experto. El puente se termina en julio de 1860. También construiría el puente de Viana do Castelo en 1878 [FIG. 2b].

Se casa con Marie Gaudelet el 8 de julio de 1862. En 1864, Eiffel se despide de la compañía, que se encuentra en muy mal estado, y decide instalarse por su cuenta. Esto le permite realizar pequeños trabajos que van subiendo de categoría.

Así construye sinagogas, iglesias, una fábrica de gas, etc. Su empresa empieza a distinguirse de las de sus competidores por «una mayor capacidad de innovación, en gran parte gracias a los brillantes ingenieros que sabía descubrir y vincular a él, también gracias a un afinado sentido de las relaciones comerciales y de su propia publicidad que focaliza sobre su persona y su nombre el éxito de la empresa»[2].

Se le adjudican dos de los cuatro viaductos de la línea ferroviaria Lyon-Burdeos (Rouzat y Neuvial). Estas construcciones se caracteriza por usar pilares tronco-piramidales con tubos de fundición en las esquinas unidos por travesaños de hierro. En la base de los pilares se disponen piezas curvas para aumentar su rigidez, diseñadas por Nordling [FIG. 3].

Ambos viaductos están considerados como prodigios del diseño de la ingeniería francesa de la época. El dintel, en celosía, es recto, tenso, estricto, perfecto y está soportado también por unos pilares en celosía, justos y equilibrados. El refuerzo inferior curvo le sobra, aunque no le hace mucho mal y nos recuerda lo que después será la Torre Eiffel.

La construcción del dintel se hace en la orilla y se empuja el dintel hacia el vacío. Cuando la punta del dintel se encuentra sobre la pila, se construye el pilar transportando sus piezas por el propio dintel [FIG. 4].

En estos puentes se empieza a ver la diferencia entre el diseño inglés y el francés. Los primeros son más originales, nuevos pero más toscos de diseño. Los franceses son perfectamente racionales, claros, se entienden de entrada y te hacen entender el «quid» del diseño metálico del XIX, lo que cambia todo lo que hasta entonces se había construido. Se solía decir que el pueblo alemán es macho, que fecunda al francés que desa-

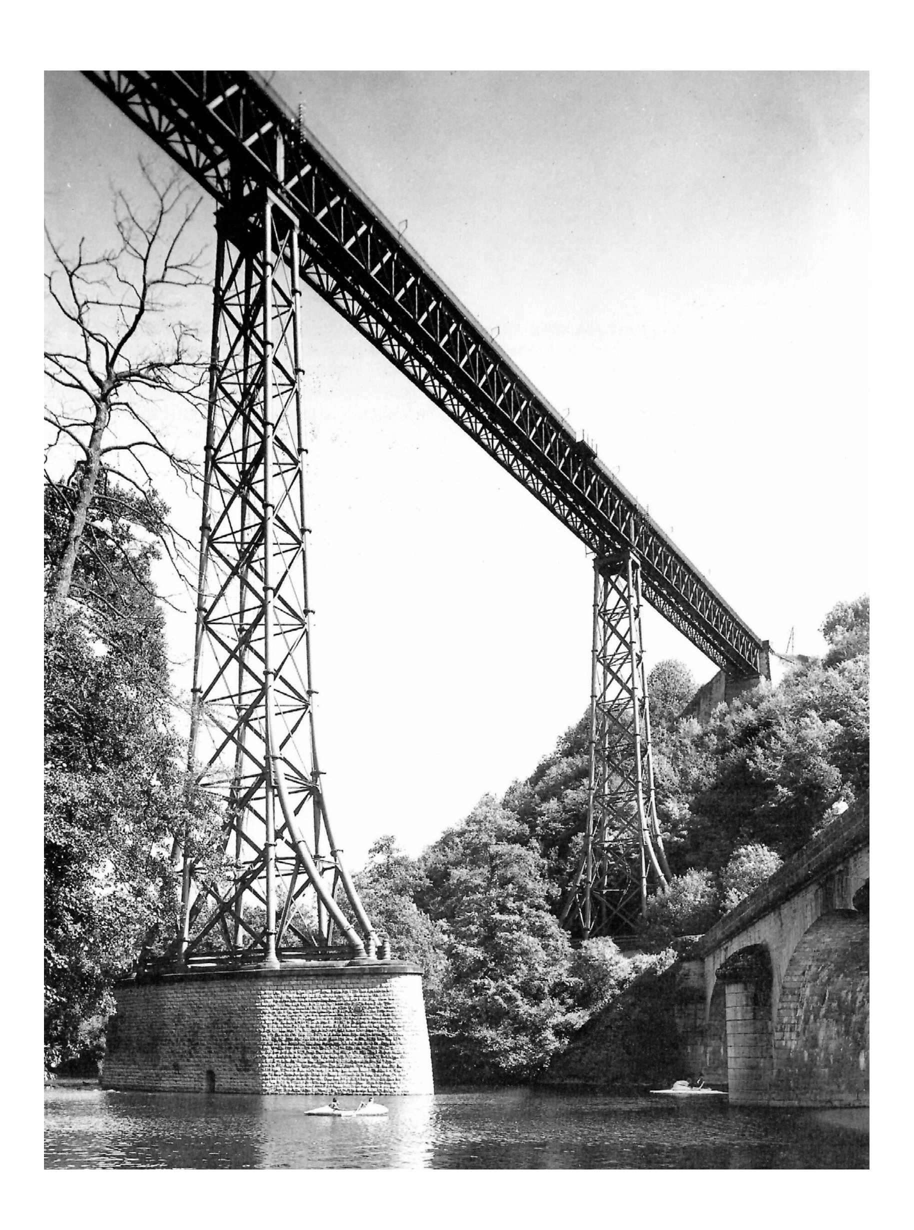


FIG. 3 Viaducto de Rouzat, Francia.

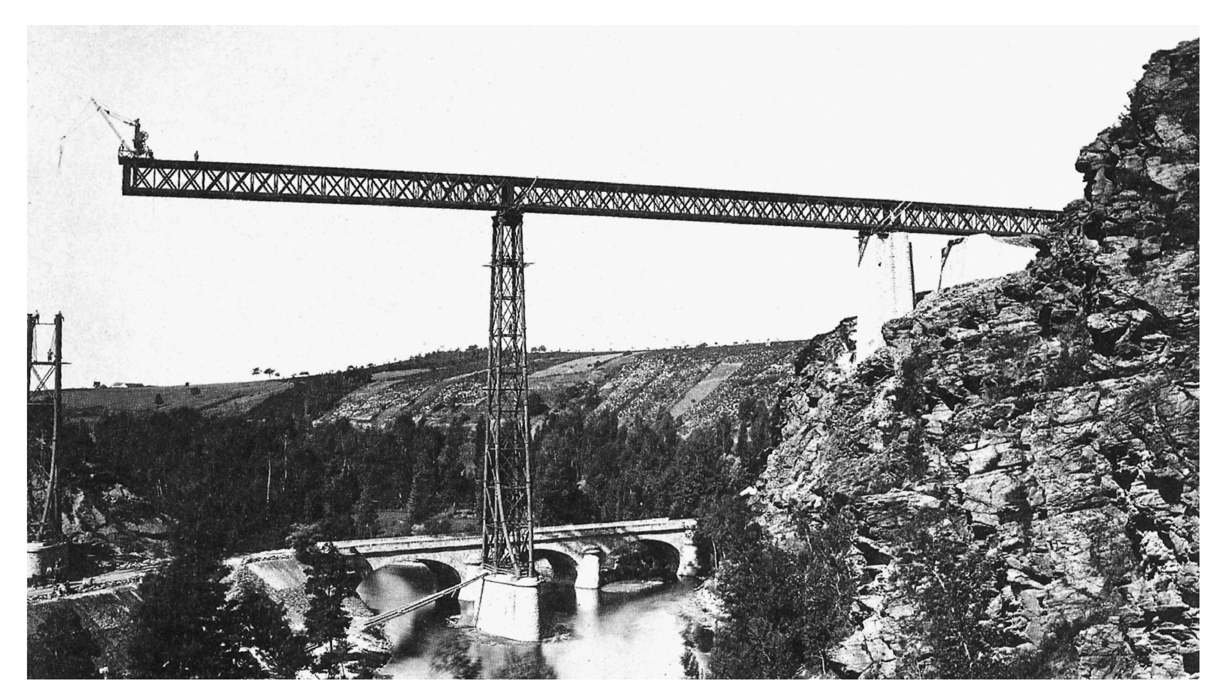


FIG. 4 Construcción del viaducto de Rouzat, 1869.

rrolla y genera todo lo correcto. No sé si es verdad, pero la superioridad del diseño francés de la época es notable.

SEYRIG

En 1869 Eiffel conoce a Théophile Seyrig, ingeniero brillante, número uno de su promoción y que dispone de fondos importantes. Funda con él la sociedad G. Eiffel et Cie., aunque la aportación de Eiffel es bastante menor que la de Seyrig no obstante se queda con la gerencia, recibe el 40 % de los beneficios mientras que Seyrig, como un empleado simple, solo recibe el 38 % y no puede aspirar a ninguna parte de la gerencia o la dirección. Eiffel dirige con brío la oficina de estudios y diseña el primer puente que dará fama a la casa Eiffel, el viaducto de María Pía sobre el río Duero en Oporto.

PUENTE SOBRE EL RÍO DUERO

La intención de cruzar el Duero en Oporto es antigua, desde los romanos, y siempre se había resuelto con un puente de barcas, aunque las primeras referencias de este puente datan del año 997 [FIG. 5].

Los sucesivos puentes fueron destruidos por las avenidas al río o por incendios como el causado por la retirada de las tropas napoleónicas.

En 1843 se inaugura el primer puente permanente entre las dos orillas, el puente Pensil, un puente colgante situado donde ahora está el puente de Luis I, cuya construcción acabará con la existencia del puente colgado [FIG. 6].



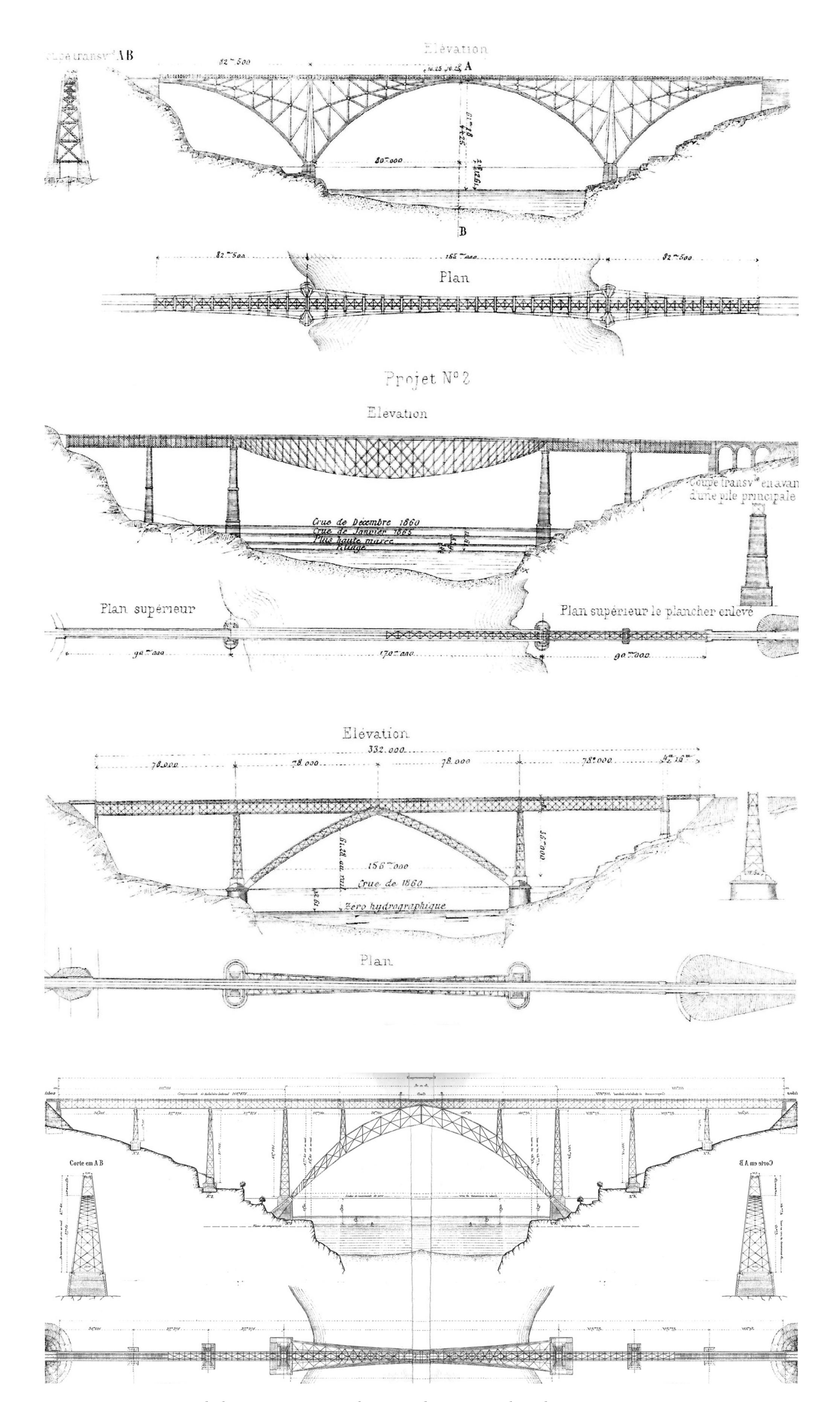
FIG. 5 C. VAN ZELLER (dibujo) / R. HAVELL, (grabado). *Vista do Porto tirada da Serra do Pilar*, siglo XIX. Museu Nacional de Soares dos Reis. Fotografía de José Pessoa, Direção-Geral do Património Cultural / Arquivo de Documentação Fotográfica (DGPC/ADF). Inv. 170 Grav MNSR.

La ejecución de líneas de ferrocarril a lo largo del país determinó la necesidad de cruzar el Duero con un nuevo puente.

En junio de 1875, se planteó un concurso internacional para diseñar y construir un puente sobre el Duero. Se presentaron ocho ofertas, de las cuales presentamos aquí las cuatro más importantes.



FIG. 6 Puente Pensil, Oporto.



FIGS. 7-10 Cuatro de los proyectos para el puente de Oporto sobre el Duero.

Gouin propone un viaducto, antecedente directo del puente de Viaur diseñado por Bodin y construido veinte años después [FIG. 7]. Fives-Lille propone una viga de cordón inferior semiparabólico [FIG. 8]. Una tercera solución es presentada por una empresa inglesa, en la cual se disponen apoyos verticales cada 78 m, y el central, el que caería dentro del agua, se sustituye por un par de puntales arqueados [FIG. 9]. (Curiosamente nosotros hemos construido el puente sobre el río Tera con el mismo esquema estructural sin tener conocimiento de esta propuesta).

Finalmente, la solución de Seyrig para la casa Eiffel presentaba un arco biarticulado de 160 m de luz y gran flecha que sostiene el dintel [FIG. 10].

Este puente, considerado como una de las grandes estructuras del siglo XIX, tiene, a mi entender, un grave problema de diseño que es la interrupción del dintel con el arco, cosa que la casa Eiffel corregirá en el futuro puente de Garabit. El aspecto general del puente se empobrece por este hecho que lo afea bastante.

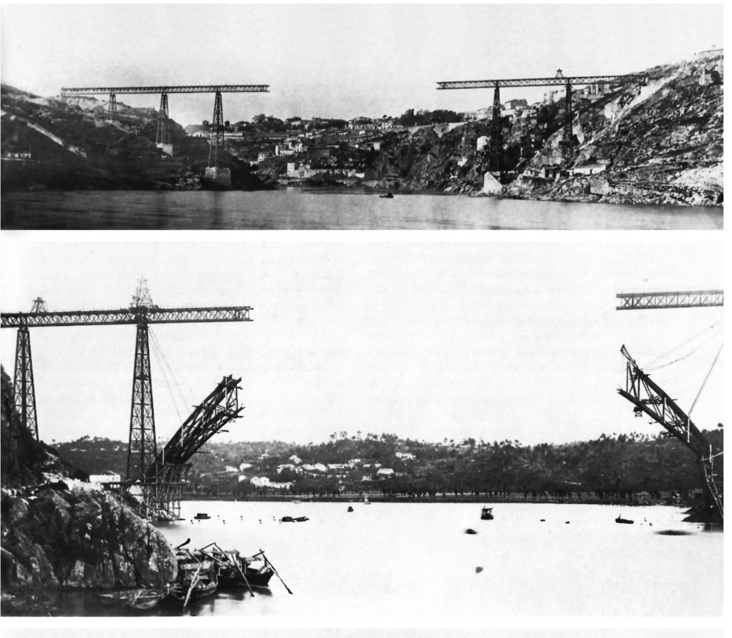
De las cuatro soluciones la de Seyrig era, con mucho, la más barata:

G. Eiffel et Cie.	965.000 (FRF)
Cie. de Fives-Lille	1.410.000 (FRF)
Société de Construction des Batignolles	1.895.000 (FRF)
McKim, Mead & White Co.	2.750.000 (FRF)

Estas enormes diferencias preocuparon a los miembros del jurado, que crearon una comisión formada por los ingenieros J.-B. Krantz, L. Molinos y H. de Dion para la comprobación de la solución de Seyrig, que encontraron correcta. Aunque el precio ascendió finalmente a un total de 1.200.000 FRF por algunas adendas introducidas.

Uno de los éxitos de esta solución fue la construcción en voladizos sucesivos atirantados, que abarató extraordinariamente la construcción. A esto hay que añadir la precisión de la ejecución gobernada por el mismo Seyrig con la colaboración de Émile Nouguier, coordinador de la ejecución que el mismo Eiffel había contratado quitándoselo a Gouin, competidor principal en el puente [FIG. 11].

La empresa Eiffel fue alabada a nivel mundial por este puente, el



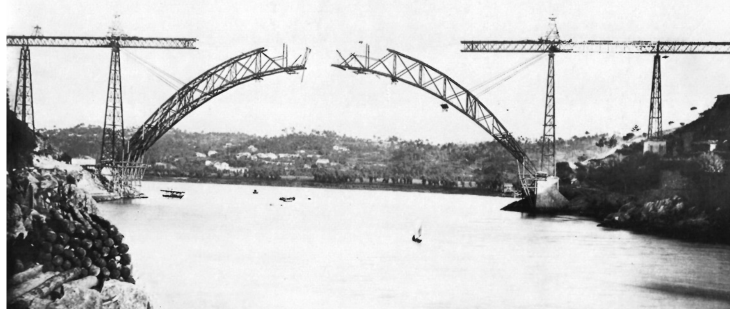


FIG. 11 Construcción del puente sobre el Duero por G. Eiffel et Cie.

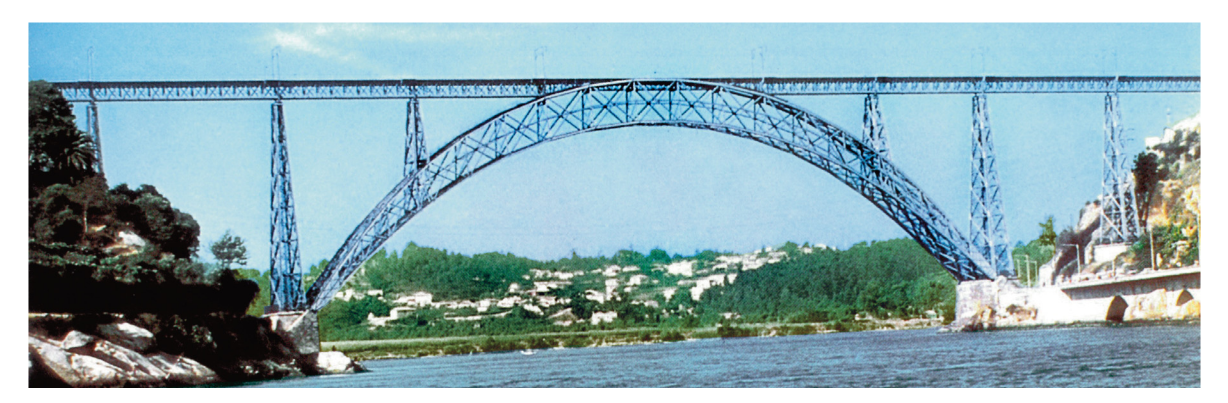


FIG. 12 Viaducto de María Pía, Oporto.

cual le abrió las puertas de las grandes construcciones internacionales de puentes metálicos [FIG. 12].

Los cálculos de Seyrig fueron aprobados y comprobados por Henri de Dion, al que Eiffel menciona en numerosas ocasiones. Todo lo contrario de lo que sucede con Théophile Seyrig, cuyo nombre Eiffel ocultará sistemáticamente. Seyrig romperá bruscamente sus relaciones con Eiffel en junio de 1879 y construirá el vecino puente de Luis I en el mismo Oporto.

GARABIT

El enorme éxito alcanzado con el puente de María Pía (nombre oficial del puente sobre el Duero) trajo como consecuencia la adjudicación directa, sin concurso, del viaducto de Garabit, en la línea ferroviaria Marvejols-Neussargues franqueando a una altura de 122 m el valle del Truyère.



FIG. 13 Viaducto de Garabit.

Se le encargó por 1.800.000 francos y una duración de la construcción de entre 18 meses y 2 años [FIG. 13].

El equipo que Eiffel consigue formar para la ejecución de este puente es formidable. Sustituye a Seyrig por Maurice Koechlin, alsaciano con estudios científicos y politécnicos en Zúrich y alumno de Karl Culmann. Asimismo, contrata a Émile Nouguier para el estudio general del proyecto y su montaje y a Jean Compagnon para el montaje en obra. Es el mismo equipo que construirá la Torre Eiffel.

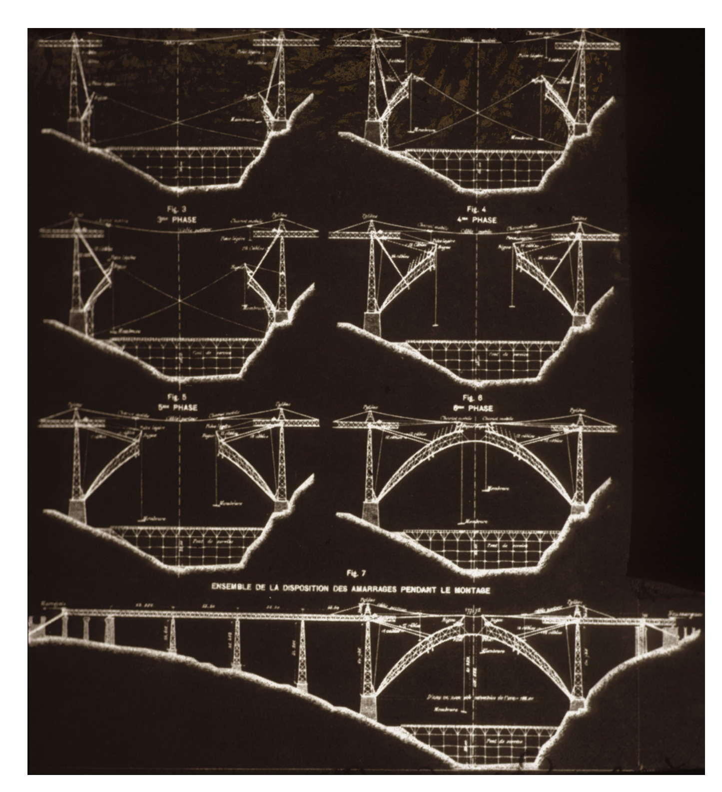
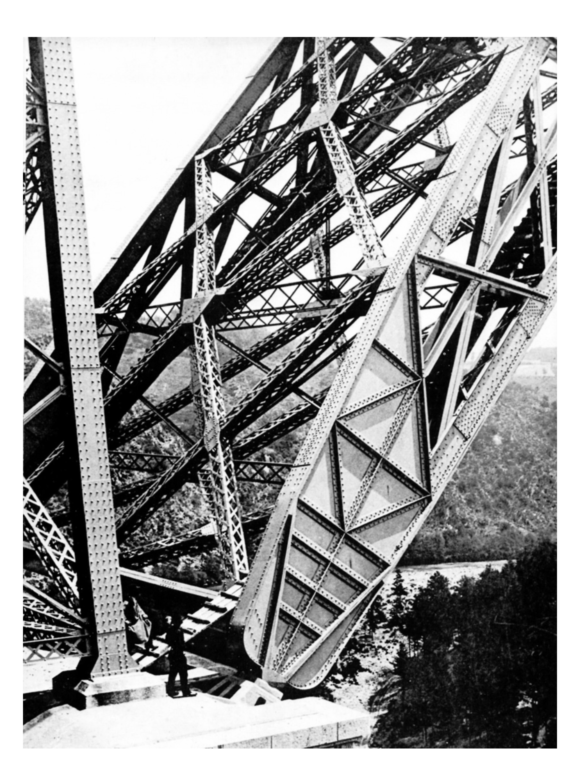


FIG. 14 Proceso del montaje del arco del viaducto de Garabit.

El modelo elegido es la solución de Seyrig para el puente del Duero, introduciendo la mejora de separar totalmente el dintel del arco. El montaje se realiza también en avance en voladizo [FIG. 14].

Las articulaciones tanto del puente de Oporto como del de Garabit son formidables [FIGS. 15a y b], la perfecta materialización de un problema resistente en su expresión formal. Son de las cosas que ayudan a saber, comprender y proyectar.





FIGS. 15a y 15b Detalle de las articulaciones de los puentes de Garabit y Oporto.

EVAUX

En la década de los 80 la actividad de la empresa de Eiffel fue formidable. Contruyó no solo el viaducto de Garabit y su famosa torre de 300 m, sino multitud de puentes y construcciones diversas.

El viaducto de Evaux sobre el Tardes (1881) está compuesto por un tablero rectilíneo de celosía múltiple sin barras verticales. El método elegido para la construcción fue el empuje desde la orilla. El vano central tendría 100,5 metros de luz y las pilas sesenta metros. Los autores del proyecto fueron Daigremont y Guillaume, ingenieros de la compañía de la línea que hizo el puente.

A finales de enero de 1884 la punta del puente se encontraba con un voladizo de 53 m sobre el pilar de la orilla derecha. En la noche del 26 al 27 de enero un huracán redobla su potencia y tira el tablero al suelo [FIG. 16]. No se culpó a Eiffel por considerarse un hecho excepcional y se volvió a construir el puente por avance en voladizo [FIG. 17a, b y c].

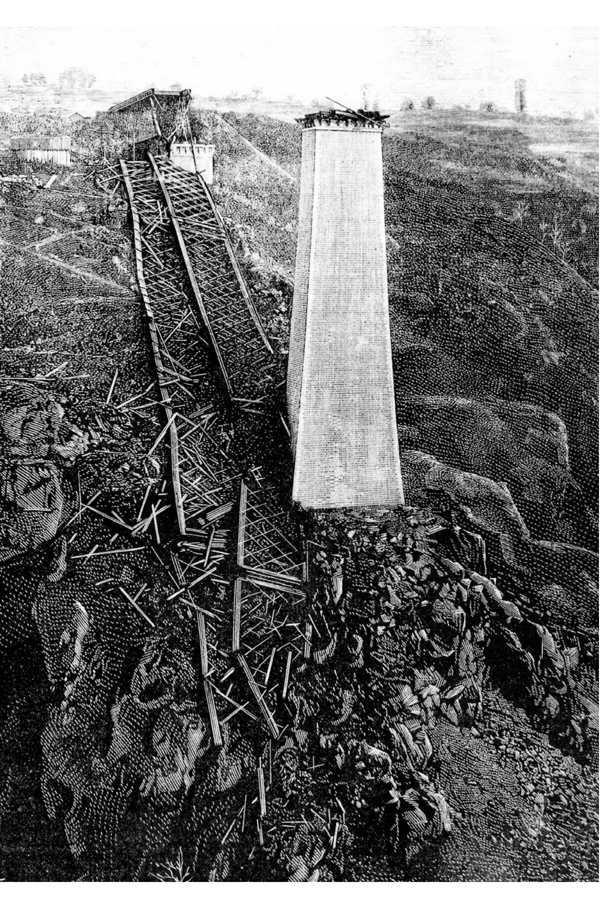
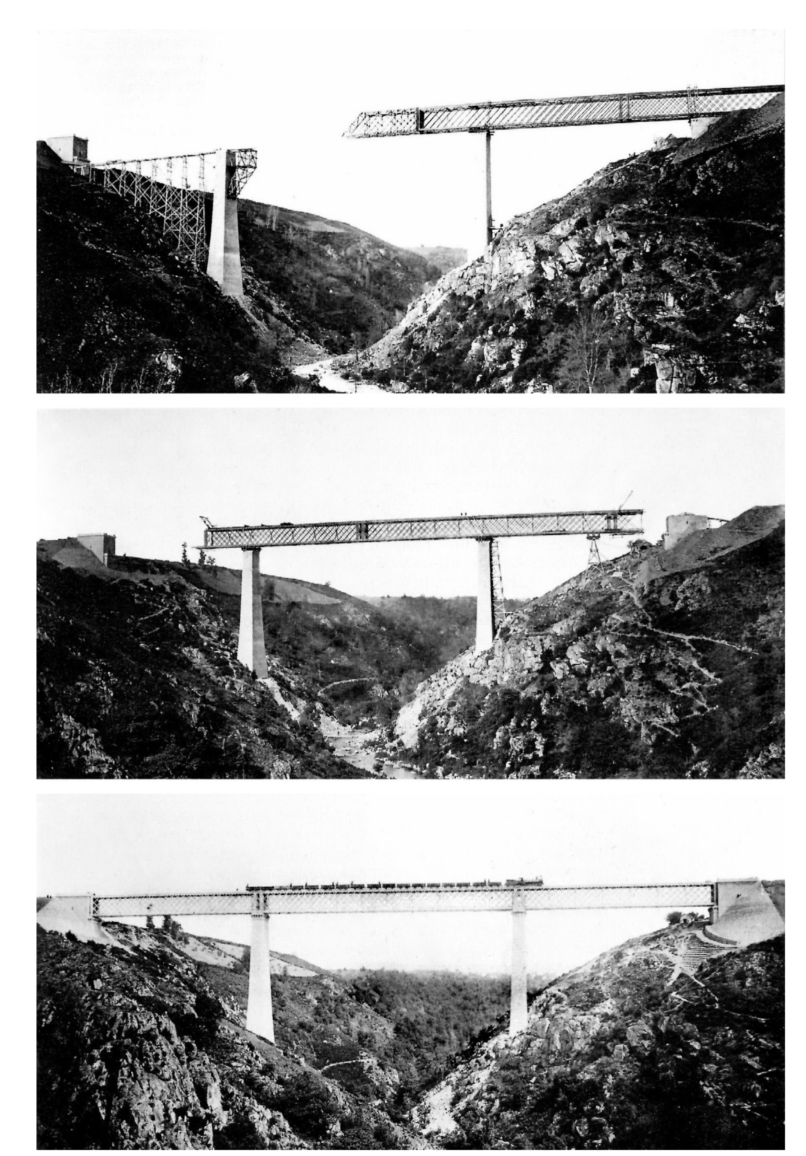


FIG. 16 Viaducto de Evaux tras el derrumbe del tablero.



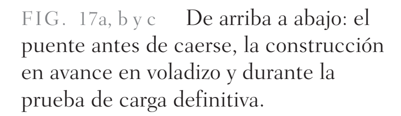


FIG. 17a, b y c De arriba a abajo: el puente antes de caerse, la construcción en avance en voladizo y durante la prueba de carga definitiva.

LA ESTATUA DE LA LIBERTAD

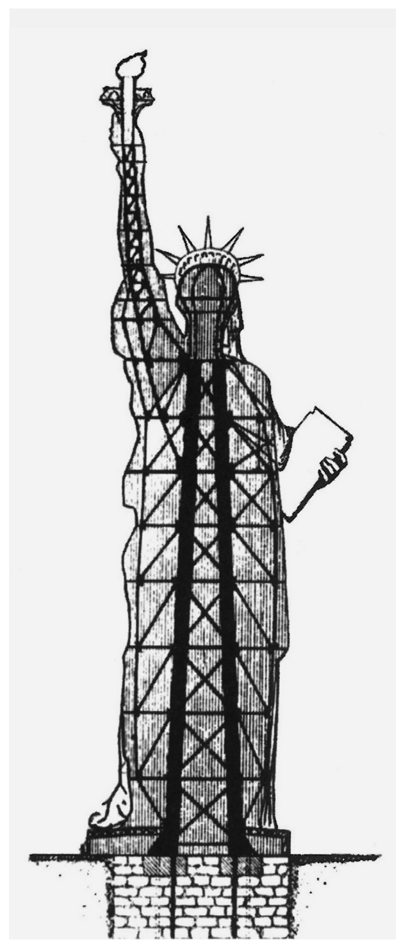


Con motivo de la celebración de la independencia de los Estados Unidos, Francia propone regalarle una estatua colosal de 60 m de altura montada sobre una basa de otros 60 m.

Se eligió al escultor Auguste Bartholdi y como artífice de la estructura a Viollet-le-Duc, el cual ya había concebido la estructura de la colosal estatua de Vercingetorix. Pero Viollet-le-Duc murió en 1879 y el escultor encargó a Eiffel que modificase completamente el diseño de Viollet.

Realiza una estructura metálica triangulada que soporta toda la estatua y de ella sale el entramado del brazo que soporta la antorcha.

A ese armazón principal se adhiere una estructura secundaria que llega hasta el borde, donde se modela la estatua con láminas de cobre [FIG. 18a, b y c].



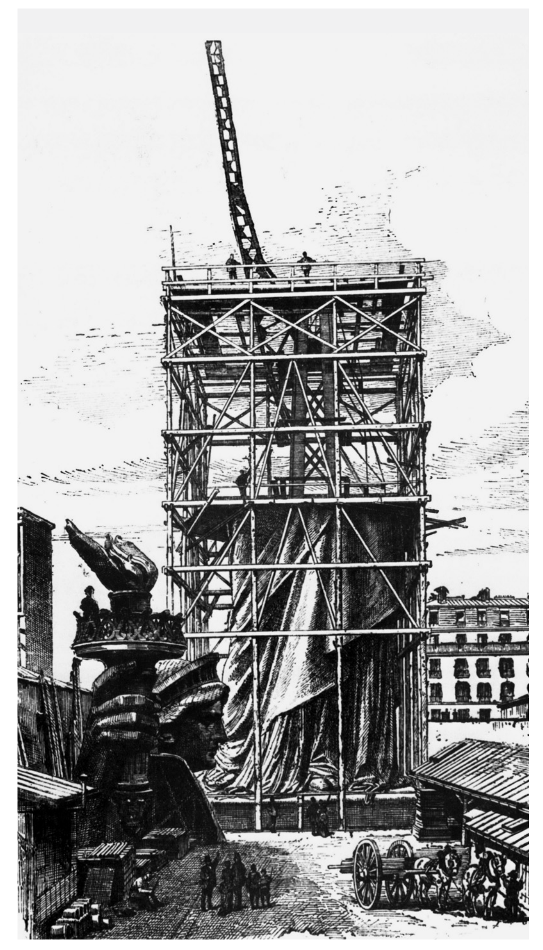


FIG. 18a. b y c Estatua de la Libertad, Nueva York: imagen actual, estructura metálica interna creada por Eiffel y montaje provisional en París.

LA TORRE DE 300 M

La Torre Eiffel, inicialmente llamada Torre de 300 metros, marca la culminación de la carrera de gran constructor de Eiffel. Se construye en 1889 para celebrar el centenario de la Revolución Francesa y como acto de afirmación internacional después de la derrota del ejército francés frente a la Alemania de Bismarck [FIG. 19].

Había habido varias propuestas de torres altas, especialmente el proyecto de Torre del Sol de Bourdais, en configuración parecida a la Torre de Pisa, primero con núcleo de piedra y finalmente con núcleo metálico [FIG. 20a]. Pero fue en mayo de 1884 cuando Nouguier y Koechlin se disponen a hacer un diseño por su cuenta de una torre de 300 m formada por patas curvas y arqueadas en celosía, unidas entre sus cinco plataformas también en celosía [FIGS. 20b-d]. Se la presentan a Eiffel, el cual no tiene la más mínima intención de seguirla y construirla, pero tampoco impide que sigan trabajando sobre ella.

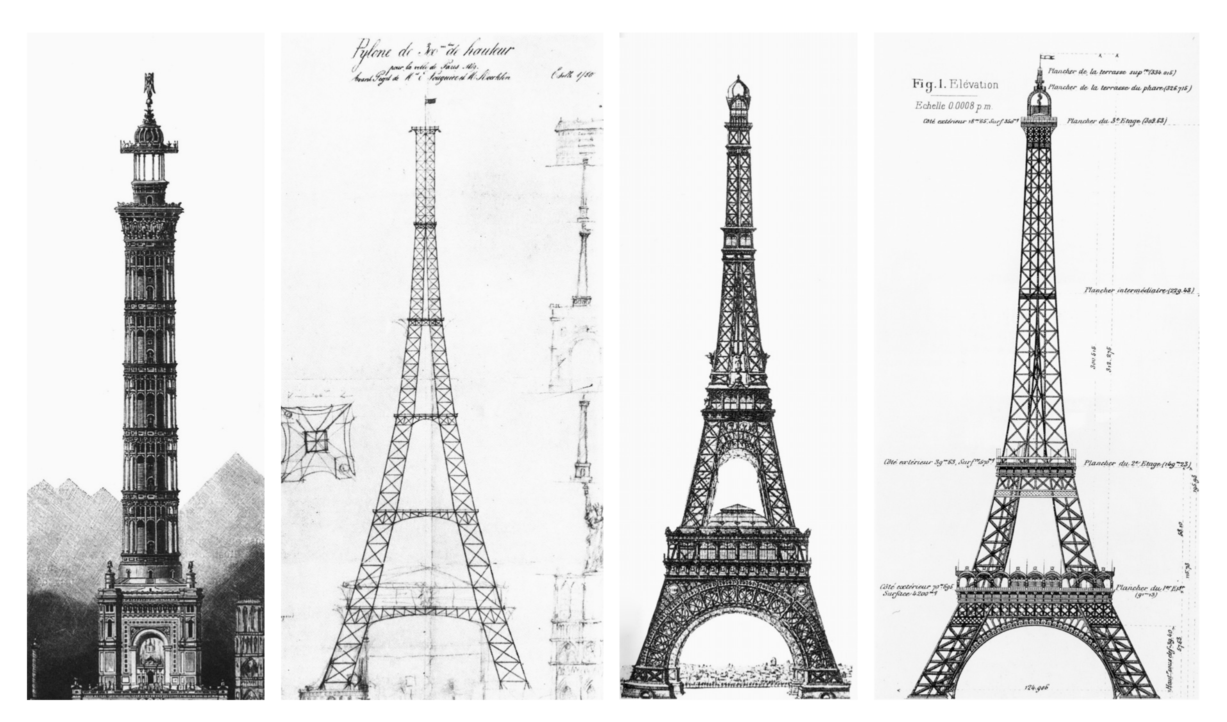
Llaman entonces a colaborar con ellos a Stephen Sauvestre, arquitecto oficial de la firma, que le añade el arco inferior que como puerta monumental dará paso a la Exposición Universal.

Este arco no servía para nada y se cambia por un arco colgado de la torre, el que tiene actualmente. El diseño se expondrá en el Palacio de la Industria de los Campos Elíseos, pero antes de ser expuesta invitan a Eiffel a verla, quien inesperadamente cambia de opinión y no solo apoya el proyecto sino que también lo patenta a nombre de Koechlin, Nouguier y él mismo.

No interesan demasiado las vicisitudes que se producen para que sea solo Eiffel el que aparezca como autor de la torre y lo que sí hay que decir es que pesó su enorme talento de empresario para financiar y construir la torre en 26 meses sin el más mínimo fallo de ejecución [FIG. 21].



FIG. 19 Torre Eiffel, París.



FIGS. 20a-20d De izquierda a derecha: Torre del Sol de Bourdais, Torre Eiffel (1ª versión), Torre Eiffel (contribución de Sauvestre), Torre Eiffel (diseño definitivo).

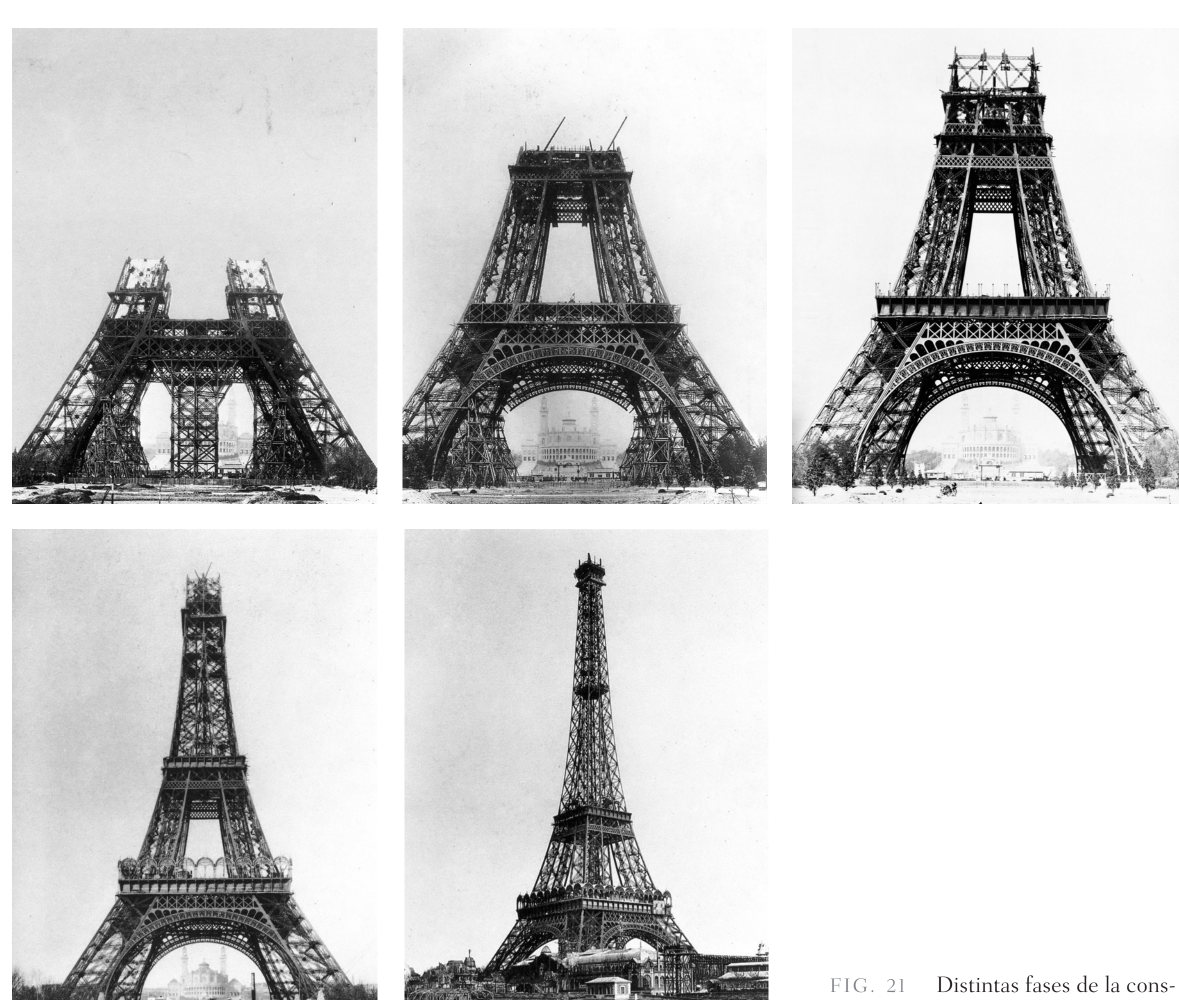


FIG. 21 Distintas fases de la construcción de la Torre Eiffel.

Se convocó un concurso en que hubo tres premiados: Dutert/Contamin, Eiffel/Sauvestre y Formigé. A Dutert por la famosa Galería de Máquinas realizada por Contamin, a Eiffel por la Torre y a Formigé por Palacio de las Artes Liberales.

Ante estas construcciones se reabrieron violentas críticas por parte de algunos intelectuales y artistas, como Gounod, Guy de Maupassant, Alejandro Dumas (hijo), Proudhon, Meissonier, etc.; como aún ocurre hoy en día por parte de quienes consideran las construcciones metálicas como sucias «horribles pajareras» sin gracia alguna, simplemente porque ignoran el auténtico valor del siglo XIX, cuyos puentes y estructuras cambiaron los gustos estéticos, y su importancia en la construcción actual.

PANAMÁ

En 1887 Eiffel firma el contrato más importante de su vida, las esclusas del Canal de Panamá. Las obras y las circunstancias llevaron a la ruina de la compañía del Canal y de todos los accionistas particulares; únicamente Eiffel obtuvo un beneficio sustancioso con los componentes. El enorme éxito de la Torre Eiffel, con la obtención de la Legión de Honor, libró a Eiffel de más de un problema por su actuación en Panamá. Eiffel tenía a la sazón 57 años. Se retiró de todos sus negocios y se dedicó a hacer ensayos aerolásticos en la torre. Murió rico a los 91 años.

NOTAS

1. B. LEMOINE (1986), *Eiffel*, Barcelona, Editorial Stylos, p. 9.
2. Ibíd. p. 34.

Volver al índice

7
Los transbordadores de Leonardo Torres Quevedo. Un análisis de estructuras semejantes

JOSÉ MIGUEL ÁVILA JALVO
Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Arquitectura

INTRODUCCIÓN DESCRIPTIVA

Torres Quevedo construyó tres transbordadores y estudió otro que no llegó a término. La simiente la sembró en su adolescencia, en una finca cántabra de la familia, donde hizo que un buey tirara de una silla colgada de unos cables; en 1907 hizo el de San Sebastián, salvando 280 m de luz; el tercero fue el del Niágara, cerca de las cataratas, con 550 m, inaugurado en 1916; y por último el estudio sin materializar para Suiza, que se acercaba a la milla.

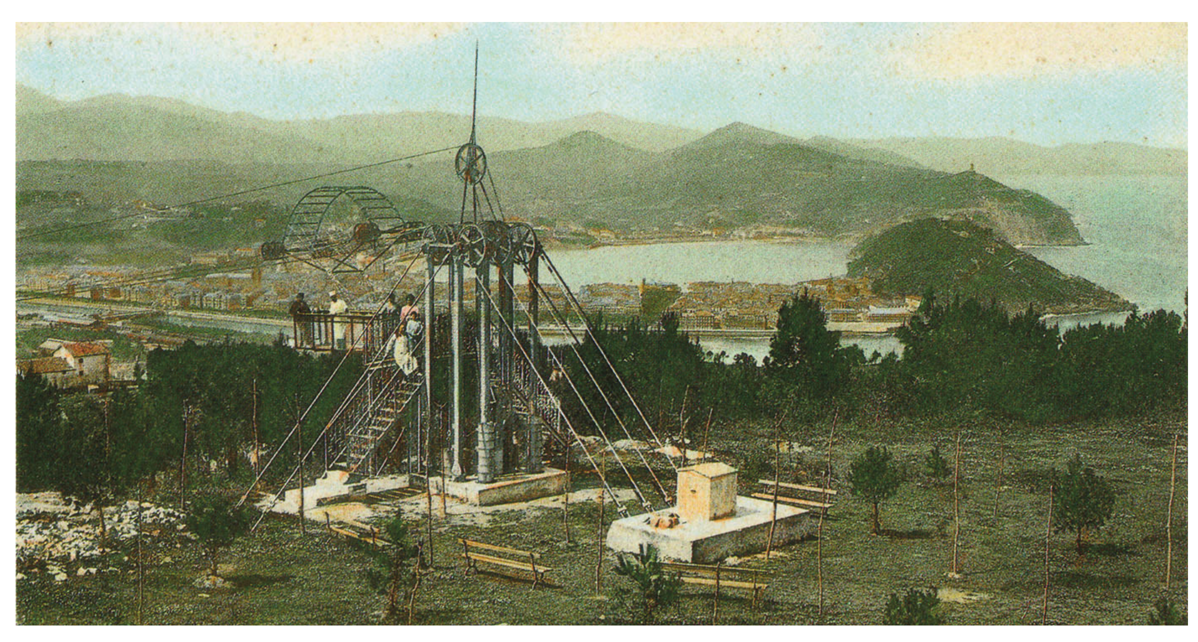


FIG. 1 Tranvía aéreo del Monte Ulía, San Sebastián.

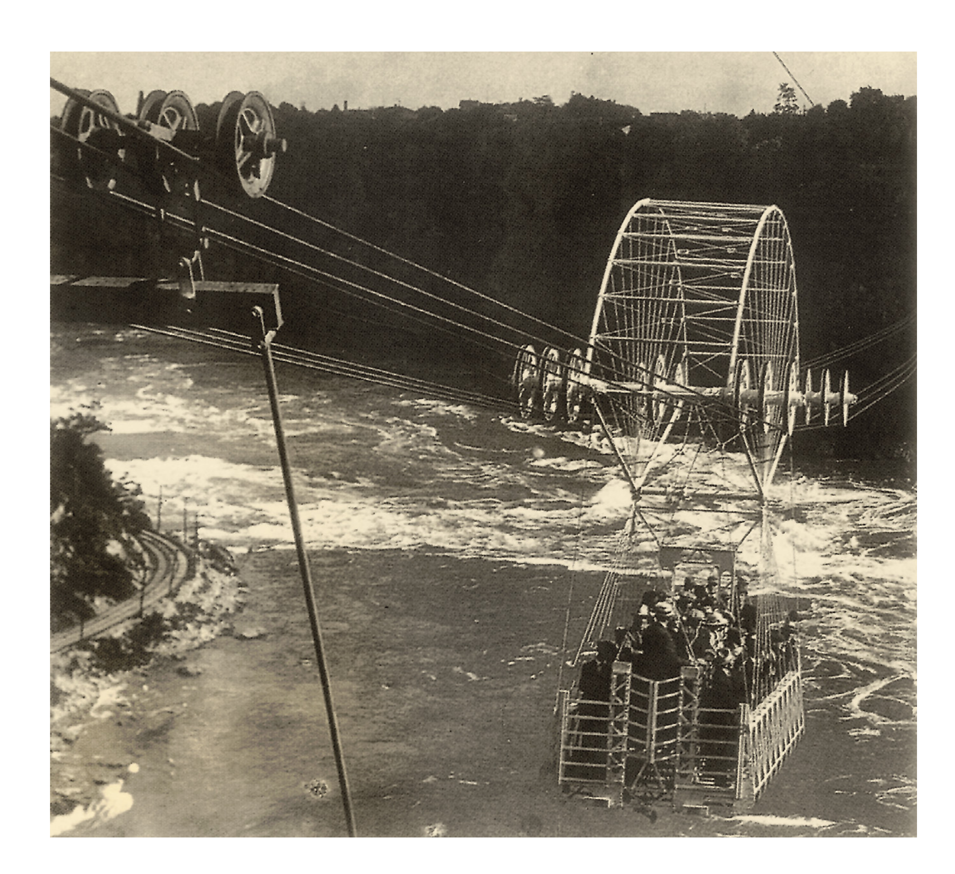


FIG. 2 Transbordador original del Niágara, 1916. Fotografía de OSCAR A. SIMON. Archivo familiar Torres Quevedo.

El de San Sebastián fue el primero que *«se realizó con sistema de contrapesos, cruzaba un barranco y permitía trasladar visitantes al Monte Ulía, donde había un casino y un mirador sobre el Cantábrico que de otro modo serían inaccesibles. Su longitud era de 280 metros y la altura sobre el fondo de un barranco, 28 metros. Llegó a transportar 26.000 personas en un solo verano empleando una barquilla con capacidad para 14 viajeros de pie»*[1].

«En el Niágara los apoyos distan 550 m, casi sin desnivel y a 75 m sobre el río. Con capacidad para 24 viajeros sentados, 21 de pie en un pasillo elevado en el centro de la barquilla, y el conductor. El peso de la barquilla vacía es de 3.500 kg, y de 7.000 kg, cuando va completa. Tiene 6 metros de longitud, 3 metros de anchura y 6 metros de altura. Ha sido construida en España y montada en Canadá. La sostienen seis cables-guía de 25 mm de diámetro, independientes entre sí, pues cada uno está anclado en un extremo mientras que del otro cuelga un contrapeso de 100 kN que lo tensa a través de una polea, de modo que el cable está sometido a un esfuerzo invariante sea cual sea la carga transportada. Con el peso de los cables la flecha alcanza 14,5 m y con el trasbordador cargado, 30,5 m».

> En realidad, el esfuerzo en los cables varía algo. La fuerza de la catenaria sigue la ley $Tx = \sqrt{(To^2+Tz^2)}$ donde *To* es la componente horizontal (que sí es constante y coincide con el contrapeso) y *Tz* es el cortante[2].

Este transbordador americano sigue funcionando, cien años después de su construcción, con ligeras modificaciones que se pueden apreciar en las figuras 2 y 3.

Respecto del transbordador suizo, no ejecutado, la reseña indica: «*Los ingenieros de la compañía, tienen actualmente en estudio una instalación de montaña con dos tramos de más de 1.600 metros de longitud cada uno*».

La información que he encontrado corresponde mayoritariamente al transbordador canadiense, y de ella son la mayoría de descripciones y valoraciones que siguen. Poco he encontrado del español, que unido a su desmontaje una década después de su construcción, abunda en nuestro interés por nuestras cosas.



FIG. 3 Transbordador actual sobre el Niágara.

PAUTAS SEGUIDAS AQUÍ PARA EXPLICAR ESTOS INGENIOS

La construcción y funcionamiento de estos transbordadores plantea un conjunto de dificultades que debe resolver el diseño. Buena parte corresponden a aspectos mecánicos, que será en los que nos detendremos aquí, pero antes señalaremos algunos de los diversos cuidados que tuvo Torres Quevedo para que su invento fuera seguro y de adecuado mantenimiento. Tras un siglo en servicio podemos afirmar que su objetivo quedó holgadamente cumplido.

La catenaria de los cables, con su flecha aumentada por el peso de la barquilla que circula por ellos, exige una potencia al motor para que salve la pendiente hacia los extremos o para retenerla al descender hacia el centro. Esta necesidad de potencia la redujo enormemente colocando un contrapeso en el extremo del cable tractor, lo que aliviaba esas cuestas al equilibrar la energía potencial del conjunto. Como se venía haciendo en los novedosos ascensores, por no retrotraernos a cualquier sistema de elevación de pesos empleado desde el pasado más remoto.

Torres Quevedo extendió esta idea a los cables guía de los que cuelga la barquilla, en lugar de anclarlos. De ese modo, la tensión del cable prácticamente no varía, sea cual sea el peso que cuelgue de ellos, pues lo que cambia es su flecha –más comba cuanta más carga haya. Por la misma razón, tampoco cambia el empuje que soportan los anclajes de fábrica de los extremos y, de esta manera, no tuvo que dimensionarlos para que admitieran posibles valores máximos accidentales, sino unos valores fijos de servicio.

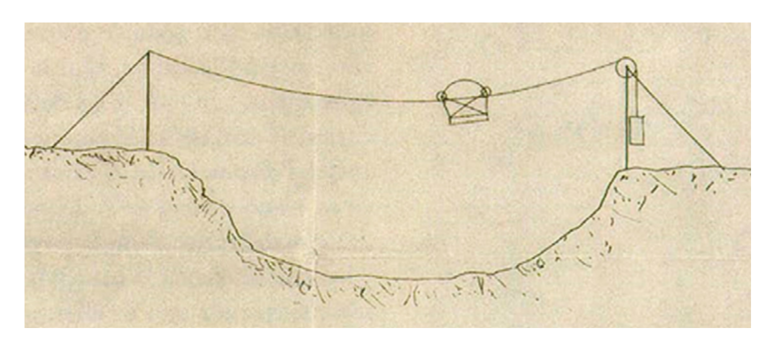


FIG. 4 Plano esquemático del transbordador del Niágara.

> Al no variar la tensión de los cables su trabajo de deformación tampoco y el material no se fatiga. Del mismo modo, la constancia del empuje en los extremos también anula la fatiga (asientos) de la cimentación y del terreno en sus planos de contacto.

Para el éxito de esta empresa no bastaba con una idea y que esta fuera realizable; además, debía ser rentable. De forma que tuvo que valorar el costo de la obra completa del transbordador en relación con el precio del viaje, lo que dicho en términos de diseño estructural equivale a determinar la relación entre el peso de la barquilla y el peso total de la estructura que la soporta. Como se verá, y refiriéndonos solo a la obra metálica, esa relación es muy elevada, por lo que reducir estructura en la barquilla suponía un ahorro descomunal, lo que obligaba a Torres Quevedo a depurar su diseño, y para ello echó mano de las teorías más avanzadas en este campo. A ello se sumaba la conveniencia de que el centro de gravedad del conjunto que colgaba del cable quedara lo más abajo posible para reducir la amplitud de balanceos, entre otras cosas.

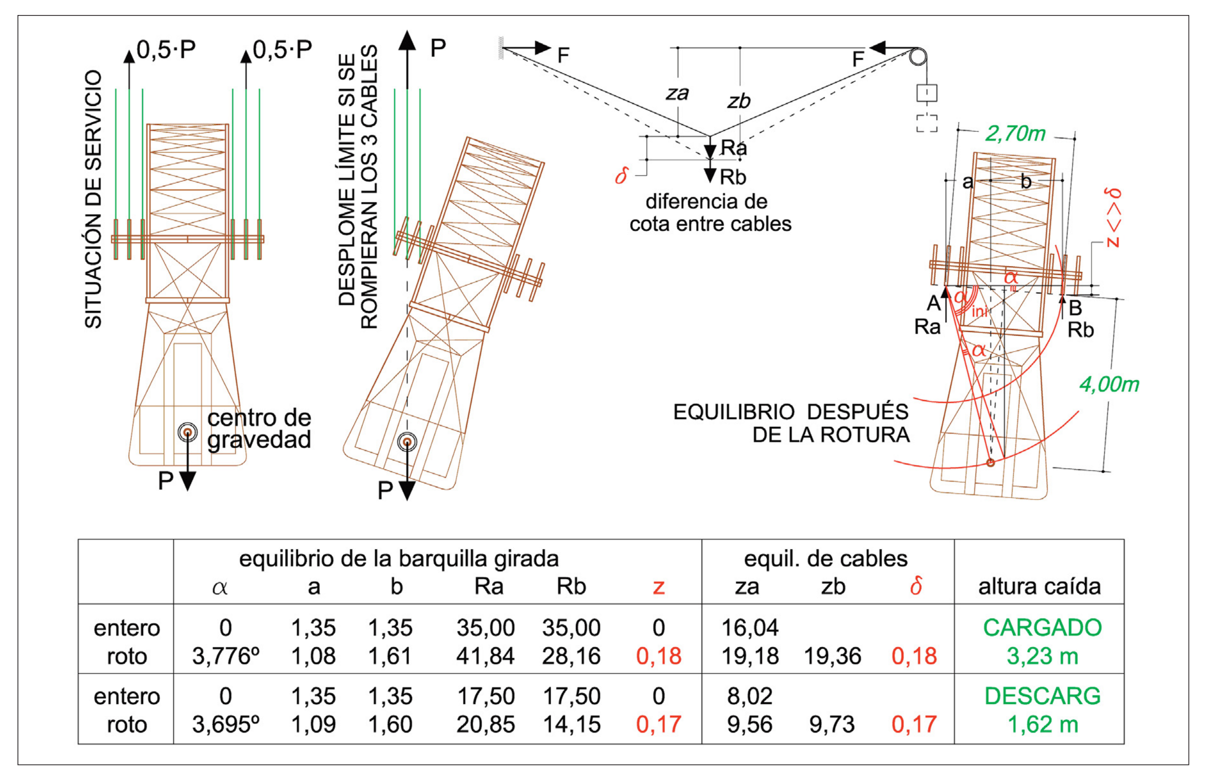
Finalmente, los dos transbordadores son semejantes y eso hace que el tamaño de sus piezas se rija por unas leyes de proporción de mucho interés, ya que permiten conocer las dimensiones de todos los elementos con los que se dimensionaron los transbordadores de San Sebastián y Canadá o Suiza, a partir de la información de uno de ellos. Estas leyes le pudieron servir al autor para conocer el resultado económico de Canadá sin tener que proyectarlo al detalle, sino comparándolo al que ya había construido en San Sebastián. De igual forma, a nosotros nos permitirá conocer las dimensiones perdidas (o no encontradas) de San Sebastián a partir del bien definido transbordador americano.

Estas son las pautas que se han seguido para desarrollar este trabajo.

SEGURIDAD, MANTENIMIENTO Y ROTURA DE CABLE

Lógicamente, la seguridad subyace en los textos de Torres Quevedo y no se limita a alejar a los materiales de la rotura, sino a realizar un trabajo concienzudo que le permitió llevar a cabo tanto la obra como su mantenimiento. Basta sentir el vértigo que produce mirar a la barquilla repleta volando sobre el Niágara –cuando aún no había aviones de pasajeros– para imaginarnos su convicción y cómo la supo transmitir a los inversores y, de paso, para entender la larga distancia que separa idear de construir. No es solo una cuestión de capacitación para realizar cálculos fiables, que veremos que dominaba –hasta donde yo alcanzo–, sino de previsión de contingencia de accidente y de minimizar sus consecuencias si este ocurriera. Para ello, estableció un plan de mantenimiento que controlaba fácilmente el estado de los elementos, de modo que su reparación resultara económica y sin apenas detener el servicio. «*En cualquier momento es posible comprobar la resistencia de los cables sin más que aumentar los contrapesos: si alguno de los cables o de los empalmes es defectuoso, probablemente se romperá al comprobarlo; y eso no aumenta la tensión de los demás*».

Solventó el desgaste del cable en el entorno de la polea, en el tramo que rueda permanentemente por su garganta, haciendo ese extremo sustituible, y así evitaba cambiar los 550 m de la longitud total. «*Los cables portadores… por tener demasiada rigidez para*



	equilibrio de la barquilla girada						equil. de cables			
	α	a	b	Ra	Rb	z	za	zb	δ	altura caída
entero	0	1,35	1,35	35,00	35,00	0	16,04			CARGADO
roto	3,776º	1,08	1,61	41,84	28,16	0,18	19,18	19,36	0,18	3,23 m
entero	0	1,35	1,35	17,50	17,50	0	8,02			DESCARG
roto	3,695º	1,09	1,60	20,85	14,15	0,17	9,56	9,73	0,17	1,62 m

FIG. 5 Esquemas y valores de la rotura de un cable.

arrollarse sobre las poleas, a unos 3 metros de éstas se conectan por medio de un manguito a un cable más flexible que es el que pasa por las poleas y baja hasta el contrapeso».

> Por mencionar los coeficientes de seguridad, estos eran los de los cables: «*La resistencia de cada uno… es 42.000 kilogramos… su tensión de operación 2050 kilogramos/cm² y el coeficiente de seguridad 4,6*» y los de los anclajes de los extremos: «*…en la estación de Colt's Point… el factor de seguridad es superior a 5 respecto al vuelco y en Thompson's Point, 8*».

El estudio de la rotura de un cable queda plasmado en diversos lugares: «*Cada cable es completamente independiente de los restantes. La rotura de uno de ellos no tiene gran importancia, ya que los demás soportarían al carro y a la barquilla sin aumentar su tensión. El conjunto de carro y barquilla descendería bruscamente una pequeña altura, del orden de un metro y, después de algunas oscilaciones, adoptaría una nueva posición de equilibrio. Se observará que, si uno de los cables portadores se rompiera sobre la barquilla, caería sin afectar a los viajeros por ser mayor la distancia entre los ejes de las ruedas que la longitud de aquella*». Efectivamente, si se rompiera un cable, la barquilla quedaría algo ladeada, tras el pánico, una vez alcanzado el equilibrio algo más abajo y después de quedar amortiguado el balanceo.

> Aceptando que el transbordador se comportara como un sólido rígido, cosa cercana a la realidad gracias al conjunto de cables de arriostramiento, su centro de gravedad se movería hacia el lado sano hasta quedar en equilibrio con un desplome que no llega a los 4 grados, como muestra la figura 5.

Supuesto el centro de gravedad a 4 m bajo los cables y que rompiera el cable central de la derecha, B descendería z respeto de A, el centro de gravedad se desplazaría hacia la izquierda y la reacción R_a aumentaría lo contrario que R_b. Por otro lado, los 3 cables izquierdos descienden hasta una cota z_a desde los apoyos por ese aumento de reacción R_a [z_a =M/U=(550·R_a/4)/300] y los 2 cables derechos descienden similarmente z_b en función de R_b [z_b =M/U=(550·R_b/4)/200]. La oscilación se amortigua a medida que la diferencia de descensos entre los grupos de cables izquierdo y derecho $\delta=(z_b-z_a)$ se iguala al descenso producido por el giro de la barquilla. La diferencia entre el 'metro' de Torres Quevedo y los 3,23 o 1,62 m descendidos aquí, posiblemente debida a la mayor información del inventor, no altera la estabilidad tras la rotura ni el valor del giro resultante).

VENTAJAS DEL CONTRAPESO RESPECTO DEL ANCLAJE

Esta obra, aparentemente tan compleja, necesita, sin embargo, mucha menos estructura que la anclada. Además, hay otra cuestión: si se optara por el anclaje, cuando llegase el momento de montar los cables en obra la primera vez, habría que ir tensándolos hasta que alcanzaran la flecha buscada y ¿qué mejor manera para tensarlos que colocando unos contrapesos provisionales que al cargarlos vayan tirando de ellos? Con lo que la solución contrapesada es una necesidad del propio montaje y, si se pasa a definitiva, evita la labor y sobrecoste de la construcción de los anclajes.

Veamos en qué se basa la reducción de estructura: Si se anclaran los extremos construyendo los cables en vacío con la misma flecha de 14,5 m de la

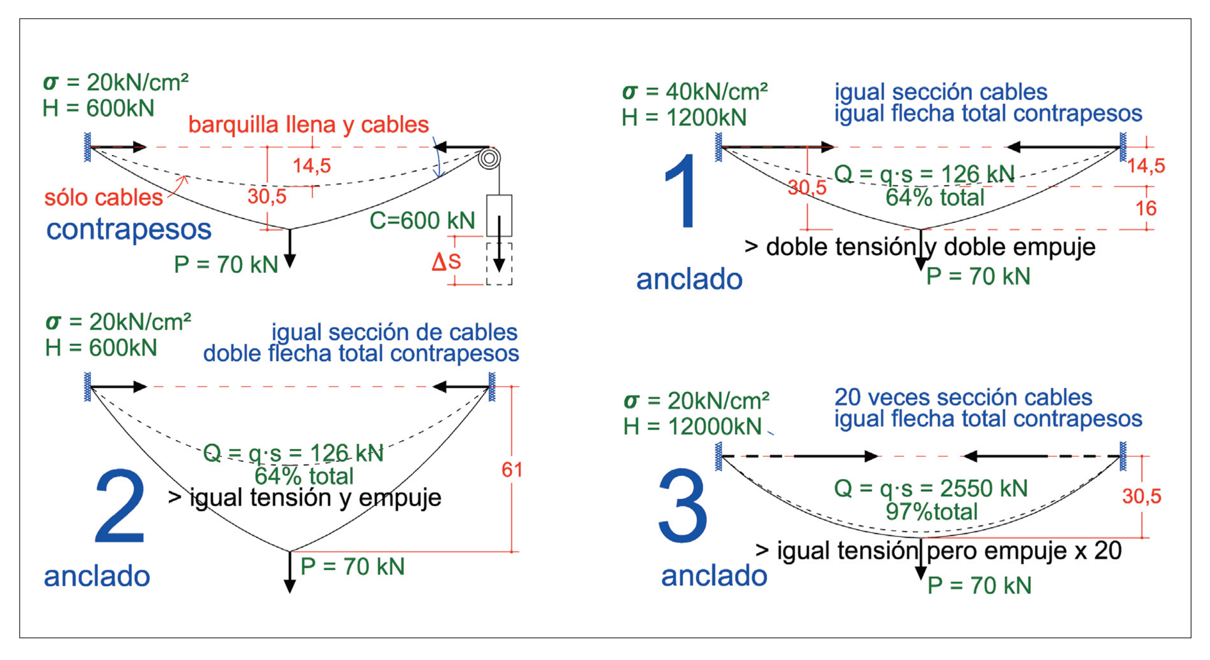


FIG. 6 Esquema comparativo entre cables anclados y contrapesados.

solución contrapesada, la tensión ya sería de unos 20 kN/cm² (lógicamente igual a la obtenida con los contrapesos). En ese momento se realizaría el anclaje y al añadir la barquilla la tensión se duplica, luego el coeficiente de seguridad bajaría a la mitad (1 en la figura 6). Para conseguir la tensión final de 20 kN/cm², hay que duplicar la flecha (2 en la figura 6) alcanzándose una pendiente y una cercanía al río inadmisibles. Finalmente (3 en la figura 6), para mantener la tensión y flecha finales de la solución contrapesada hay que multiplicar por 20 la sección (y el peso) de los cables, que supone unos esfuerzos y un gasto insoportables.

Nota: La semi-longitud de una catenaria simétrica es $s = a \cdot \mathrm{senh}(0{,}5L/a)$ y la flecha $f = a(\cosh(0{,}5L/a)-1)$ siendo $a = To/q$ y *To* la componente horizontal del esfuerzo. Conocida la longitud final y la inicial se determinan ε, σ, etc.

RELACIÓN ENTRE LA CANTIDAD DE ESTRUCTURA DE LA BARQUILLA Y DE LOS CABLES

Un aumento de peso de la barquilla repercute en cables y contrapesos, por hablar solo de la estructura sustentante de acero. En el transbordador del Niágara, cada kilo que se reduzca en el diseño de la barquilla supone más de 11 kg de ahorro entre cables y contrapesos; a eso hay que añadir la menor excavación y menor peso de los lastres extremos. Esta repercusión va a suponer la necesidad de un diseño muy afinado de la barquilla para que, además de resistente, pese lo menos posible.

La barquilla del Niágara pesa 70 kN, los cables de acero de Ø25 mm y 550 m de longitud, 126 kN y los 6 contrapesos 600 kN, por lo que la relación entre peso total y barquilla es 11,4 [= (600+126+70) / 70].

LA FORMA DEL CARRO

«*La barquilla está suspendida de un carretón de forma particular*», dice la reseña de la época… y a esa «particularidad», se le debe una explicación.

En 1890, Maxwell dio los primeros pasos para determinar la cantidad de estructura que requiere un problema estructural. Y en 1904, solo tres años antes de inaugurarse el transbordador vasco, Michell relacionó la cantidad de estructura con su forma. De este modo, se podía elegir la solución más ligera entre varias e incluso tratar de diseñar la de mínimo peso. Esto hizo Michell con el problema de trasladar una carga desde el centro a los apoyos llegando a la forma óptima que se muestra a la izquierda de la figura 7.

¿Qué hace Torres Quevedo con todo esto, y qué parecía conocer? –y si no, más mérito. Si en la estructura óptima de Michell vamos doblando el papel por la línea de puntos sucesivamente, tal como se indica en la figura 7, se obtiene la misma cantidad de estructura en todos los casos porque son transformaciones geométricas de la primera.

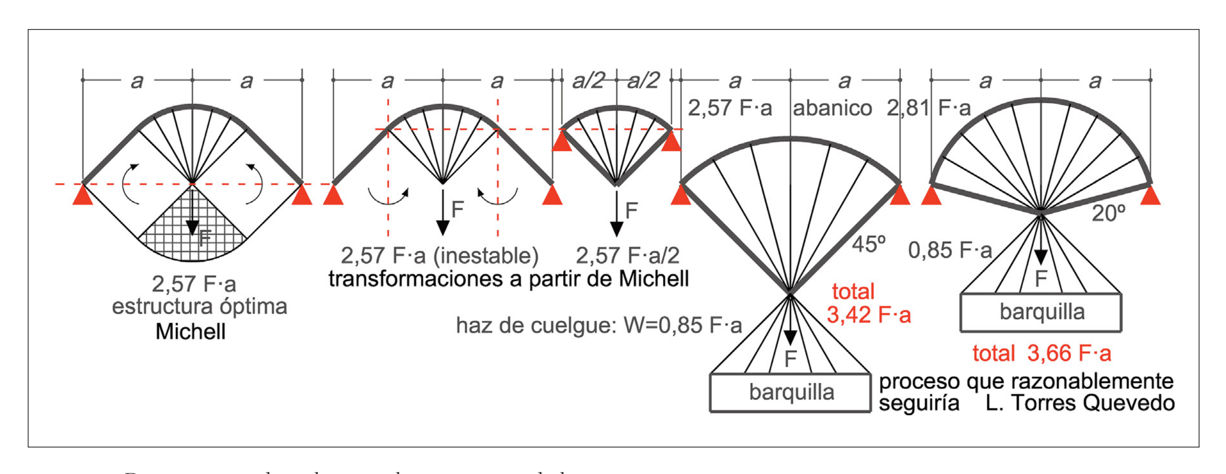


FIG. 7 Diseño orientado a alcanzar el peso mínimo de la estructura.

Efectivamente:

arco (compresión):	$W^{-} = (F/\sqrt{2})\cdot(a/\sqrt{2}\cdot\pi/2) = 0{,}785\cdot Fa$
2 radios extremos (tracción):	$W^{+,1} = 2\cdot(F/\sqrt{2})\cdot(a\sqrt{2}) = Fa$
radios interiores (tracción):	$W^{+,2} = W^{-} = 0{,}785\ Fa$
Lo que supone un total de	$W = (0{,}785+1+0{,}785)\cdot Fa = 2{,}57\ Fa$

Debe indicarse que, con tanto doblar, se ha modificado el problema inicial, ya que se ha perdido la alineación entre apoyos y carga, dejando de ser un problema de flexión para pasar a ser de flexión y tracción. Pero esto no altera la esencia del trabajo de Torres Quevedo, que es el de conseguir una estructura que pese lo menos posible.

Hay que añadir que el abanico del Niágara no forma 45º, necesario para alcanzar el mínimo, sino unos 20º. Si no dispusiéramos de fotografías del de San Sebastián, que muestra un ángulo también de unos 20º, podríamos achacarlo a las exigencias canadienses que «*prohibían superar con torres y maquinarias las cotas naturales del terreno*» –lo que muestra, de paso, un cuidado secular al medio ambiente de las naciones avanzadas (cuando se trata

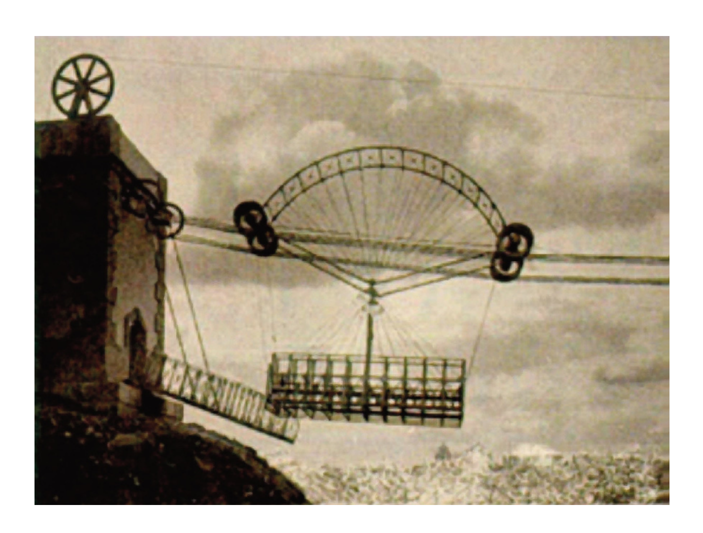


FIG. 8 Pruebas de obra en el transbordador sobre el Niágara.



FIG. 9 Llegada del funicular del Monte Ulía, San Sebastián.

de su territorio). Lo que parece es que Torres Quevedo bajó el centro del abanico para reducir la altura de los cables-guía y de la obra civil de los desembarcaderos.

> Este ángulo de 20º, conlleva un 7 % más de cantidad de estructura que el de 45º, lo que tampoco supone un despilfarro. En el de 45º, W=3,42·Fa [abanico 2,57·Fa más haz de cuelgue 0,85·Fa] mientras que el de 20º, W=3,66·Fa [abanico 2,81·Fa más haz de cuelgue 0,85·Fa]. Pero, a cambio, se reduce metro y medio la altura de la obra civil de los embarcaderos, porque desde los cables-guía al centro del abanico baja de 2,83 m (45º) a 1,36 m (20º).

LAS PROPIEDADES DE LA SEMEJANZA EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS

Si cambia el tamaño o la proporción de un problema, las estructuras semejantes que lo resuelvan varían los espesores de sus piezas siguiendo leyes de crecimiento relacionadas con los cambios de la geometría y de las cargas.

En cuanto a la geometría, la barquilla del Monte Ulía admite 14 personas y la de Ontario, 45; luego, su relación de capacidad, que es tanto como decir su área, es 3.2 [= 45/14], y consecuentemente la escala lineal entre ambas es $\chi = \sqrt{3{,}2} = 1{,}80$. Y, si nos referimos al tendido de los cables, en San Sebastián tiene una longitud de 280 m y en el

Niágara 550 m, luego esa escala es 1,96 prácticamente $\chi' = 2$, y en el transbordador suizo hubiera sido seis veces mayor. A partir de aquí podemos acercarnos, con posibilidad de éxito, a establecer un buen número de relaciones entre estos transbordadores, en cuanto que son obras semejantes.

> En términos de superficie, la barquilla donostiarra tiene un área en planta de (3,5·1,1 = 3,85 m²) y la canadiense (5,6·2,2 = 12,32 m²), por tanto, se repite la relación 3,2 [= 12,32/3,85]. Cosa lógica ya que cada persona ocupa el mismo espacio en planta (hay que apuntar que estamos comparando americanos del norte pero con vascos).

En cuanto a las cargas externas a la estructura, solo existe la barquilla, y varía con su área, como se acaba de ver. El resto es el peso de la propia estructura (esencialmente el de los cables-guía y contrapesos, ya que el peso del abanico y del haz de cuelgue de la barquilla es poco relevante); y ese peso propio varía con su volumen.

En consecuencia, la cantidad de estructura que se emplea en soportar la carga de la barquilla varía con una ley χ^2 mientras que la dedicada a soportarse a sí misma lo hace según una ley χ^3 –entiéndase χ' cuando se hable del tendido.

De este modo, se pueden determinar las dimensiones de todos los componentes estructurales de estos transbordadores, aplicando leyes de semejanza. Por ejemplo, hablando del abanico del que cuelga la barquilla, cuyo peso propio es poco significativo al lado de pasajeros y caja, cabe decir que sus dimensiones (longitudes y diámetros de barras), varían con χ; sus esfuerzos y secciones, con χ^2; y sus tensiones y factor de pandeo no quedan afectados por la variación de tamaño. De modo que si a los planos de la estructura de la barquilla americana se les cambiara la escala con una razón 1/1,80, tenemos la donostiarra sin más trabajo.

> Respecto de por qué el factor de pandeo de barras comprimidas de este tipo de estructuras no cambia con el tamaño, Ricardo Aroca aporta una cosa evidente (una vez que lo ha contado él): *como la longitud de la barra (L) crece con χ y su compresión y sección con χ^2, el diámetro de la barra crece con χ y, consecuentemente, la esbeltez (L/Ø) y el factor de pandeo (ω) son constantes.*

En cuanto a los cables, su propio peso los somete a una tensión que depende solo del tamaño (luz) y de la proporción de la catenaria (esbeltez [= luz/flecha]).

> El peso por metro lineal de los cables guía (q), es función de su sección (A) y de su peso específico (ρ=78,5 kN/m³). Como consecuencia, hay un momento máximo de valor aproximado ($M \approx qL^2/8$), un esfuerzo en los cables, siendo ‘f’ la flecha, de ($U=M/f$) y una tensión ($\sigma=U/A$). De ello resulta la proporcionalidad comentada entre la tensión de trabajo del acero y la geometría del tendido:

$$\sigma = U/A = M/Af \approx qL^2/8Af = 0{,}785AL^2/(800Af) \approx L\cdot\lambda/1000$$

Consideremos, como posibilidad razonable y que necesitamos para comparar las dos estructuras, que Torres Quevedo dimensionara los cables de ambos transbordadores para que trabajaran a la misma tensión (la que se empleara en el material de la época). Eso supone que el producto $L \cdot \lambda$ es constante a ambos lados del Atlántico. Como la luz L del Niágara es casi el doble, la esbeltez λ tiene que ser casi la mitad (= la flecha, la cuarta parte). Por lo que se puede aventurar que los cables vascos debieron de tener un diámetro de 20 mm y los 6 contrapesos unos 386 kN, contra los 600 kN del Niágara.

> Si se despeja q (peso por metro de los seis cables) en: $A\sigma = U = M/f \approx (qL^2/8+PL/4)/f$ y se sustituye $A = 100 \cdot q/0{,}785$ para expresarlo en función del peso propio de los cables, resulta, para σ=20,5 kN/cm², L=280 m, P=21,6 kN=70/1,80² kN y f.Niágara=30,5 y f.Ulía=7,90 m; un diámetro para cada uno de los seis cables de 1.94cm que se aproximan al Ø20 indicado. Del mismo modo, los contrapesos (U) se obtienen a partir de $U=A\sigma$ y su magnitud es una mezcla proporcional a la escala χ=1.80 de las cargas que varían con χ^2 (barquilla) y a la escala χ'=1,96 de las cargas que varían con χ^3 (cables).

ÚLTIMO APUNTE

Terminemos haciendo notar que se ha seguido un planteamiento analítico mediante el cálculo (complementario a búsquedas documentales o de restos materiales) y que funciona en sentido inverso al proyectual que pudo seguir Torres Quevedo cuando, tras haber dimensionado San Sebastián, dedujo con estas leyes de proporción, el americano. Por tanto, cuando estudió la viabilidad del transbordador del Niágara, solo necesitaba unas mínimas operaciones de proporcionalidad aplicadas a lo que ya había desarrollado en el Monte Ulía unos años antes, para conocer todos los parámetros de la nueva estructura canadiense, y llegar así a la conclusión, sin tener por qué salir de Neguri, de si merecía la pena embarcarse en la operación.

NOTAS

1. Se utiliza cursiva cuando se resume algún texto extraído de las referencias.
2. Se usan las sangrías, como en este párrafo, en los casos que hay que justificar alguna afirmación.

AROCA HERNÁNDEZ-ROS, R. (1970-2010), Múltiples apuntes inéditos de su docencia.
ÁVILA JALVO, J. M. y NAVASCUÉS PALACIO, P. (2010), «Los trasbordadores de Leonardo Torres Quevedo», en *Geometría y Proporción en las estructuras. Ensayos en Honor de Ricardo Aroca*, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, pp. 107-121.
CERVERA BRAVO, J. (1993), *Diseño de estructuras en edificación*, Madrid, Departamento de Estructuras de Edificación, ETS de Arquitectura, Instituto Juan de Herrera.
FERNÁNDEZ CABO, J. L. (1998), *Estructura: tamaño, forma y proporción*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Arquitectura.
GONZÁLEZ QUIJANO, P. M. (1916), «Transbordador de Torres Quevedo en el Niágara», *Revista de Obras Públicas,* LXIV, nº 2117, pp. 181-188.
GONZÁLEZ QUIJANO, P. M. (1916), «Transbordador funicular sobre las cataratas del Niágara», *Revista de Obras Públicas,* LXIV, nº 2118, pp. 193-194.
GORDON, J. E. (2004), *Estructuras, o por qué las cosas no se caen*, (trad. Valentín Quintás), Madrid, Calamar Ediciones.
NAVASCUÉS PALACIO, P. (2007), *Arquitectura e Ingeniería del hierro en España*, Madrid, Fundación Iberdrola.
Reseña «Transportador aéreo Torres Quevedo» (1914), *Revista de Obras Públicas,* LXII, nº 2048, p. 672.
RUI-WAMBA MARTIJA, J. (1995), «Viaje estructural en el transbordador», en *En torno a Leonardo Torres Quevedo y el trasbordador del Niágara*, Madrid, Fundación Esteyco.

Volver al índice

8

Michel de Bergue, Josep Maria Cornet i Mas, Joan Torras Guardiola. Tres pioneros de las estructuras metálicas en Cataluña

RAMON GRAUS
Universitat Politècnica de Catalunya

El hierro y la posibilidad de usarlo en estructuras metálicas se desarrolló en Cataluña en paralelo a su profundo proceso de industrialización. Los primeros pasos de la llamada arquitectura del hierro del siglo XIX se pueden relacionar con los excedentes producidos por un tejido empresarial de pequeñas fundiciones y talleres mecánicos que se habían especializado en la producción de piezas de recambio de máquinas de vapor y telares mecánicos. Con el tiempo, estos talleres tuvieron la capacidad de transformarse en empresas de mayor envergadura. En este contexto emergieron tres figuras de perfil profesional muy diverso que ejercieron de verdaderos pioneros de las construcciones metálicas en Cataluña: Michel de Bergue, Josep Maria Cornet i Mas y Joan Torras Guardiola.

Para mostrar estos primeros balbuceos de las estructuras metálicas en Cataluña se utilizará un sesgo marcadamente biográfico, ya que esta aproximación permitirá señalar el tejido de relaciones que se establecen en el sector productivo de la primera industrialización catalana y sus conexiones con el debate arquitectónico europeo.

MICHEL DE BERGUE, INGENIERO MECÁNICO

Un caso paradigmático en este contexto de industrialización, repleto de actividades nuevas y con un marco competencial difuso, lo protagonizó el ingeniero mecánico Michel de Bergue (Londres, 1812 - Barcelona, 1877), conocido habitualmente en España como Miguel de Bergue o Miguel Debergue. Hijo de Louis Nicolas de Bergue, noble francés exiliado en Inglaterra durante la Revolución francesa, Michel perteneció a una saga de ingenieros mecánicos que se extendió por media Europa. El padre reinició los negocios en París el año 1820 mientras distribuía estratégicamente a algunos de sus hijos: el mayor,

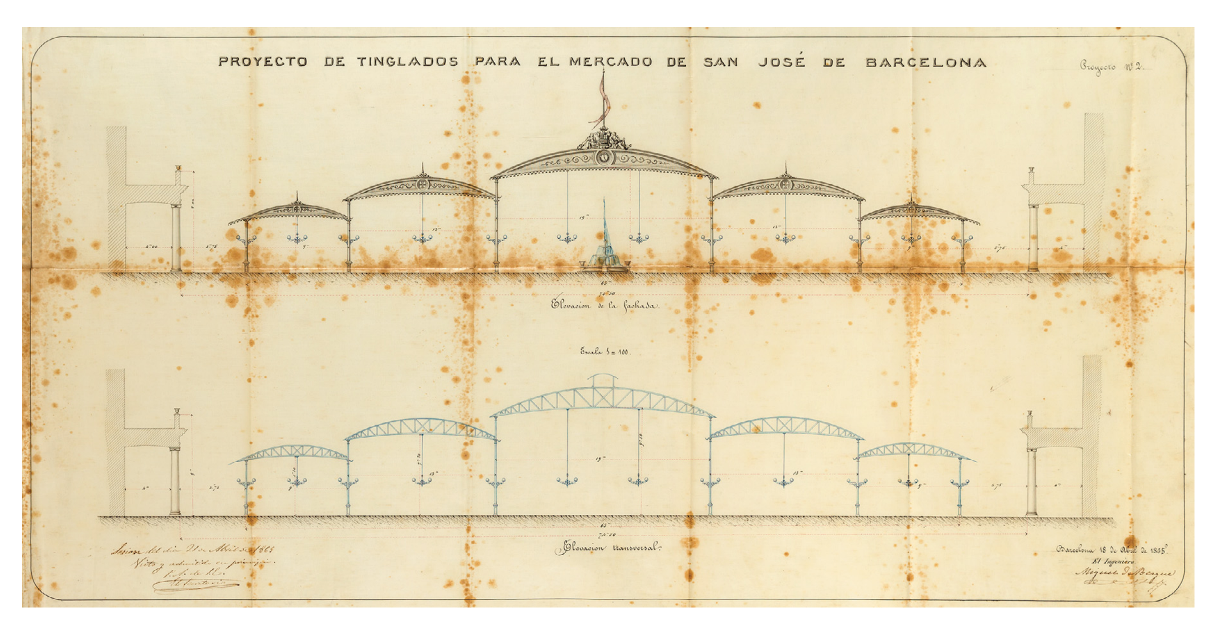


FIG. 1 MICHEL DE BERGUE. *Proyecto de tinglados para el mercado de San José de Barcelona*, 1865. Arxiu Municipal Contemporani de Barcelona, Q136 3/1-3142-1865. Fotografía de Pep Parer.

Charles, retornó a Inglaterra y fundó unos talleres mecánicos, Henri creó un gran taller de construcción de telares en París, mientras otros tres hermanos, Michel, Auguste y Cornélius, fueron enviados a España para abrir nuevos mercados. Los contactos profundos de Michel de Bergue con Inglaterra y su matrimonio con Anne Warren hicieron que habitualmente fuera conocido en Barcelona como ingeniero británico.

Michel de Bergue fue un hombre muy activo en la primera industrialización catalana. Seguramente llegó a Barcelona en el año 1832 junto a la primera máquina de vapor del país, la instalada por la firma John Hall & Sons en la fábrica Bonaplata, Rull, Vilaregut i Cía. Precisamente De Bergue actuó como representante en Barcelona de John Hall & Sons, suministrando máquinas de vapor para el Vapor Vell de Sants o La España Industrial. A su vez, se convirtió en la pieza clave del taller mecánico Vilanova, Domènech y Bergue (1840).

A inicios de los años sesenta del siglo XIX, Barcelona ya tenía cinco estaciones de ferrocarril. De Bergue participó activamente en dos de ellas. Así, en 1850, obtuvo la concesión provisional de la línea de Barcelona a Molins de Rei y, en 1851, su ampliación hasta Martorell. Sin embargo, no fue hasta 1854 cuando se construyó la estación al lado la plaza de Cataluña. La armadura de cubierta, de 21 m de luz libre, estaba formada por dos pares lenticulares que, al combinarse en tijera y atirantarse, daban forma a una suave cubierta de plancha que seguía la directriz de un arco rebajado. Ligera y funcional, era de lejos la estructura más elegante de la nueva arquitectura del hierro en Barcelona. El origen de este mundo formal debe buscarse en el Reino Unido, donde a una escala mucho mayor se acababan de construir las cubiertas lenticulares de las renovadas estaciones de Liverpool Lime Street y de Birmingham. La estación de llegada a Martorell, construida por De Bergue seis años después, también era una variante del mismo tipo.

Asimismo De Bergue cubrió, en 1865, los andenes de la estación del Norte, que había construido tres años antes el ingeniero de caminos Pere de Andrés i Puigdollers. Aquí utilizó unas armaduras Polonceau, de 36 m de luz libre, pero no se quedó satisfecho y



FIG. 2 MICHEL DE BERGUE. Viaducto ferroviario de Martorell sobre el río Llobregat, línea de Barcelona a Martorell (dos tramos extremos de 17 m y nueve tramos de 27,40 m), 1859. Fotografía de JOSÉ MARTÍNEZ SÁNCHEZ.

«artistizó» la armadura del testero con formas del gótico flamígero que redibujaban tirantes y tornapuntas.

En paralelo, De Bergue recibió en 1865 el encargo de la comisión de mercados de Barcelona para que preparase dos anteproyectos para cubrir el mercado de Sant Josep, la conocida Boqueria. La plaza tenía a medio construir los pórticos neoclásicos de Josep Mas i Vila, que debían ser respetados. De Bergue presentó dos propuestas: como primera opción propuso un mercado cerrado con fachadas de cristal a la manera de un invernadero, y en segundo lugar propuso unos tinglados, bastante más baratos, formados por cinco naves abiertas lateralmente, que se escalonaban gradualmente [FIG. 1]. La comisión eligió esta segunda opción y De Bergue redactó un completo proyecto ejecutivo en el que proponía unas armaduras lenticulares de hierro, de 9, 13 y 19 m de luz libre, pero, de la misma manera que en la Estación del Norte, la fachada enmascaraba las armaduras que tenía detrás con una estilización de su forma, ahora disponiendo un frontón en media luna. El Ayuntamiento aprobó el proyecto, pero el arquitecto provincial –en aquellos momentos, Francesc Daniel Molina– denegó el permiso repetidas veces alegando que un mercado solamente lo podía diseñar un arquitecto y en ningún caso un ingeniero, y mucho menos un ingeniero sin título español. En un último intento, De Bergue acordó con el arquitecto Magí Rius i Mulet que le firmase los planos, pero tampoco se pudo construir la obra, ni De Bergue consiguió cobrar el trabajo. En el mismo año en que presentaba la propuesta para la Boqueria, De Bergue diseñaba una cubierta parecida para el mercado de Portugalete en Valladolid, que tampoco se construyó.

Es preciso retornar a la línea Barcelona-Martorell que promovía Michel de Bergue con el apoyo de su hermano Charles de Bergue en Inglaterra. Para llegar a Martorell era necesario cruzar el río Llobregat, de caudal muy irregular, pero de grandes avenidas periódicas. En el año 1859 el sector de las estructuras metálicas estaba poco desarrollado, y se debía salvar una longitud total de 280 m. En una vista aguas arriba [FIG. 2] se puede

observar cómo se trata de un viaducto ferroviario prudente, con once tramos de poca luz: dos tramos extremos de 17 m y nueve tramos de 27,40 m. De Bergue utilizó vigas rectas de celosía metálica, con los cordones superiores e inferiores unidos por un enrejado orientado a 45º en cada cara. Sin embargo, las uniones roblonadas de las diagonales dificultaban el cálculo, de manera que se puede aseverar que es un tipo de puente basado en la intuición y en la prueba-error.

En cualquier caso, el puente de Martorell fue terminado en 1859, fecha muy temprana, en la que los puentes de viga recta eran una novedad en la península Ibérica. Y, en fin, en esta obra, para De Bergue, estaba trabajando un joven estudiante de ingeniería industrial, el segundo pionero de las estructuras metálicas que propone el título de este capítulo.

JOSEP MARIA CORNET I MAS, INGENIERO INDUSTRIAL

Josep Maria Cornet i Mas (Barcelona, 1839-1916) también formaba parte de una saga, en este caso de tres hermanos ingenieros industriales, Gaietà, Magí y Josep Maria, el menor. Josep Maria obtuvo el título de ingeniero industrial en 1874, muy tarde para la edad que ya tenía, 35 años. Sin embargo, esto no significa que no estuviera trabajando y formándose dentro de su profesión. El itinerario paralelo que siguió fue casi tan importante como sus estudios oficiales en la Escuela de Ingenieros Industriales barcelonesa.

Cabe destacar que Cornet i Mas fue un observador privilegiado de la manera pragmática de practicar la ingeniería, a la inglesa, de Michel de Bergue. Cornet i Mas colaboró con De Bergue en la reconstrucción del Gran Teatre del Liceu, incendiado en 1861. El proyecto fue encargado al arquitecto Josep Oriol Mestres, que preveía aprovechar las

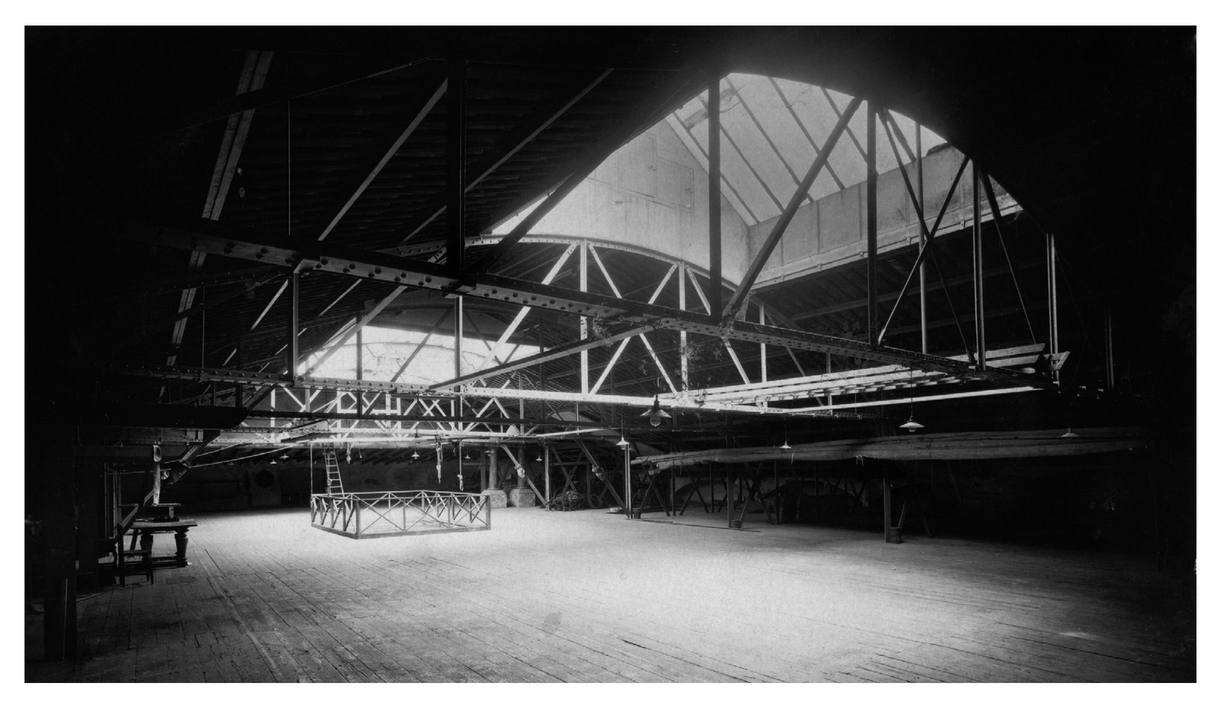


FIG. 3 MICHEL DE BERGUE. Armaduras del taller de escenografía, ubicado sobre la platea del Gran Teatre del Liceu, 1861. Societat del Gran Teatre del Liceu. Biblioteca d'Humanitats de la Universitat Autònoma de Barcelona.



FIG. 4 JOSEP MARIA CORNET I MAS. Viaducto ferroviario de Can Palau sobre el río Congost, línea Granollers-Sant Joan de les Abadesses (dos tramos extremos de 32,54 m y dos tramos de 39 m), construido en los talleres de La Maquinista Terrestre y Marítima, 1871-1875. Biblioteca de Catalunya, *La Ilustración Española y Americana*, 15 sep. 1875.

nuevas armaduras de la cubierta, que sostenían el cielo raso decorado de la sala, para disponer por encima un espacio de trabajo en el que se pudieran pintar los nuevos decorados, que luego se deslizarían hasta la caja escénica. Con este objetivo se encargó a varias firmas inglesas que propusieran cómo debían ser estas armaduras de 27 m de luz. La armadura propuesta por la firma Charles D. Young & Co. planteaba un solución interesante: el tirante horizontal inferior se convertía en una viga de sección variable que obraba a flexión para sostener el área de trabajo. Finalmente se encargó a De Bergue que hiciera una interpretación local de la propuesta inglesa [FIG. 3]. La armadura era excesivamente deformable, sin embargo, esta fue la solución constructiva que pervivió hasta el incendio de 1994. Con esta experiencia De Bergue construyó también la cubierta del Teatro Calderón de la Barca de Valladolid (1864) del arquitecto Jerónimo de la Gándara.

Este es el bagaje con el que Cornet i Mas llegó a la empresa La Maquinista Terrestre y Marítima en el año 1868. La compañía no atravesaba su mejor momento. Se había fundado en el año 1855 con el objetivo de construir máquinas de vapor para locomotoras y barcos, tal como indicaba el nombre de la empresa, pero los grandes encargos no llegaban y la crisis general de los años sesenta obligó a la sociedad a abrirse a nuevos mercados. Así, en 1870 los accionistas modificaron sus estatutos para ampliar el objeto de la sociedad a la construcción de estructuras metálicas. Y, evidentemente, la decisión del director, Nicolau Tous i Mirapeix, de contratar a un prometedor Cornet i Mas no era casualidad.

Y tampoco fue casualidad que el primer trabajo que emprendió Cornet i Mas en La Maquinista fueran las armaduras de cubierta de otro teatro, el Teatro Circo Barcelonés, también incendiado y reconstruido por el maestro de obras Josep Fontserè i Mestre.

A finales de 1871, La Maquinista recibió, por fin, el encargo de 30 viaductos metálicos de la línea del ferrocarril de Granollers a Sant Joan de les Abadesses [FIG. 4] que fueron diseñados por Cornet i Mas con la viga de celosía que había aprendido a montar en el puente de Martorell. De golpe, las esperanzas de una empresa de maquinaria se fundamentaban en la construcción de puentes y otras estructuras metálicas.



FIG. 5 JOSEP FONTSERÈ I MESTRE con JOSEP MARIA CORNET I MAS. Mercado del Born de Barcelona, construido en los talleres de La Maquinista Terrestre y Marítima, 1873-1876. Fons antic de la ETSEIB (UPC). Dibujo de ANTONIO CASTELUCHO, en C. CAMPS ARMET, *Diccionario industrial. (Artes y oficios de Europa y América),* Barcelona, A. Elías y C.ª Editores, s. f., *ca.* 1890.

Por ejemplo, en el momento en el que el Ayuntamiento de Barcelona encargó al maestro de obras Josep Fontserè i Mestre, director de las obras del parque de la Ciudadela, el mercado del Born, este trabajó codo con codo con Cornet i Mas para diseñar el mercado antes de la licitación de las obras en enero de 1874. Subasta pública que ganó, naturalmente, La Maquinista Terrestre y Marítima. Se trataba de un mercado cubierto de 8.000 m^2 que reinterpretaba el modelo de moda de Les Halles, el mercado central de París, de Baltard y Callet, ya que Fontserè no utilizó las complejas armaduras diseñadas por Baltard sino unas sencillas armaduras Polonceau modificadas con tirante horizontal [FIG. 5].

A su vez, el proyecto del mercado fue modificado durante la obra. Las variaciones fueron sutiles pero mejoraron la apariencia exterior del edificio y su lógica estructural. Muy particularmente, se decidió levantar la altura del cimborrio central octogonal. Este cambio estaba ligado a las dificultades de llevar a la práctica la primera solución estructural que se había dado a este cimborrio, ya que se pretendía sostenerlo sobre solo cuatro pilares de esquina. Finalmente, Cornet i Mas decidió introducir ocho nuevos pilares que eran arriostrados en dos niveles con jácenas armadas que delimitaban la planta del octógono. Por encima de la última riostra se disponían ocho pares que definían las limatesas, las cuales eran recogidas por un gran anillo central, que a su vez permitía formar una linterna.

Aunque la obra del mercado del Born se alargó más tiempo de lo previsto, el Ayuntamiento de Barcelona decidió multiplicar los encargos de mercados. El segundo mercado de hierro de Barcelona fue el de Sant Antoni [FIG. 6], fruto de la colaboración del arquitecto municipal Antoni Rovira i Trias y Cornet i Mas (1872-1882). Se trataba de un proyecto que exploraba el uso del panóptico, encajándolo en una manzana Cerdà en la que los brazos de las cuatro naves tenían el ancho del chaflán de las calles. El interior era cubierto con sencillas armaduras Polonceau. Sin embargo, la complejidad que provocaba

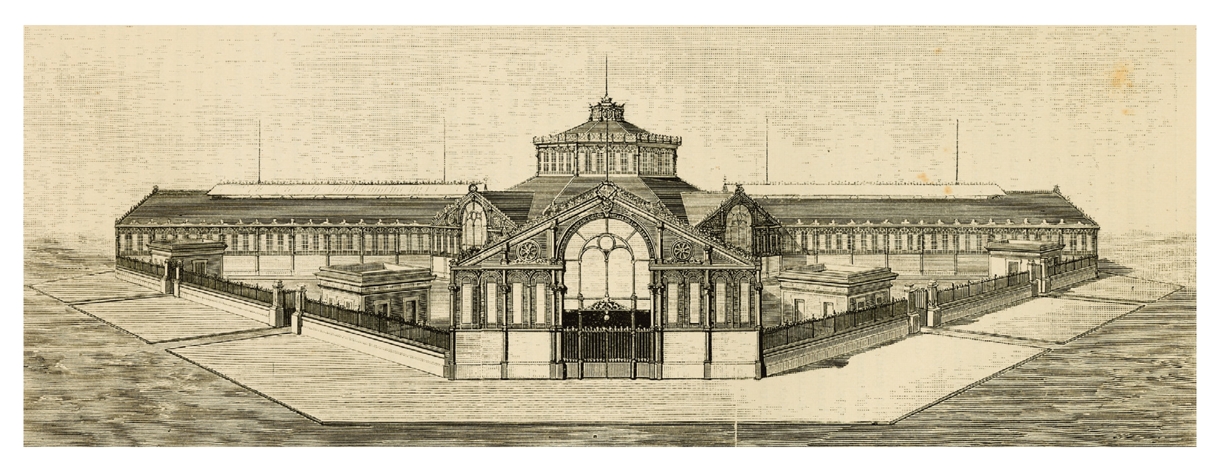


FIG. 6 ANTONI ROVIRA I TRIAS con JOSEP MARIA CORNET I MAS. Mercado de Sant Antoni de Barcelona, construido en los talleres de La Maquinista Terrestre y Marítima, 1872-1882. Fons antic de la ETSEIB (UPC). C. CAMPS ARMET, *Diccionario industrial...*, *ca.* 1890.

la transición entre el octógono y los cuatro brazos se resolvió con una solución de planta estrellada, que vista por debajo podría recordar la lógica de un tardogótico. En el fondo es la misma solución estructural del mercado del Born para el cimborrio, con una corona exterior de jácenas.

La colaboración entre Rovira i Trias y La Maquinista continuó en tres mercados más, los cuales ya pertenecen a una nueva generación. Son los mercados de la Barceloneta (1883), la Concepción (1888) y Hostafrancs (1888). Su planta se desarrollaba en una nave central y dos naves laterales más bajas. Si su apariencia exterior era parecida a los mercados anteriores, en el interior Cornet i Mas incorporó las últimas novedades en el campo estructural. En este caso aplicó literalmente lo que conocemos como sistema Dion, un pórtico basado en la unión rígida entre el par y el pilar que permitía eliminar el tirante horizontal de las armaduras clásicas de cubierta.

Durante la Restauración borbónica, La Maquinista Terrestre y Marítima aumentó la construcción de puentes metálicos y también diversificó los trabajos de obra pública, que incluyen obras tan destacadas como el acueducto del canal de Urgell sobre el río Sió en Agramunt (1877) o el dique sumergido de Portugalete (1882). Con el paso de los años Cornet i Mas incrementó su perfil gerencial y se convirtió en el director de La Maquinista, desde 1880 hasta su muerte en 1916, y en diputado a Cortes por el partido conservador a partir de 1891, desde donde defendió sus tesis proteccionistas de la industria nacional.

JOAN TORRAS GUARDIOLA, ARQUITECTO

Paradójicamente, la vocación por el hierro del arquitecto Joan Torras Guardiola (Sant Andreu de Palomar, 1827 - Barcelona, 1910) fue particularmente tardía. Arquitecto de sólida formación matemática –había estudiado durante dos años en la cátedra de matemáticas de la Junta de Comercio–, se tituló en la Escuela de Arquitectura de Madrid en 1854. A su vuelta se convirtió en el profesor de geometría descriptiva, estereotomía, me-

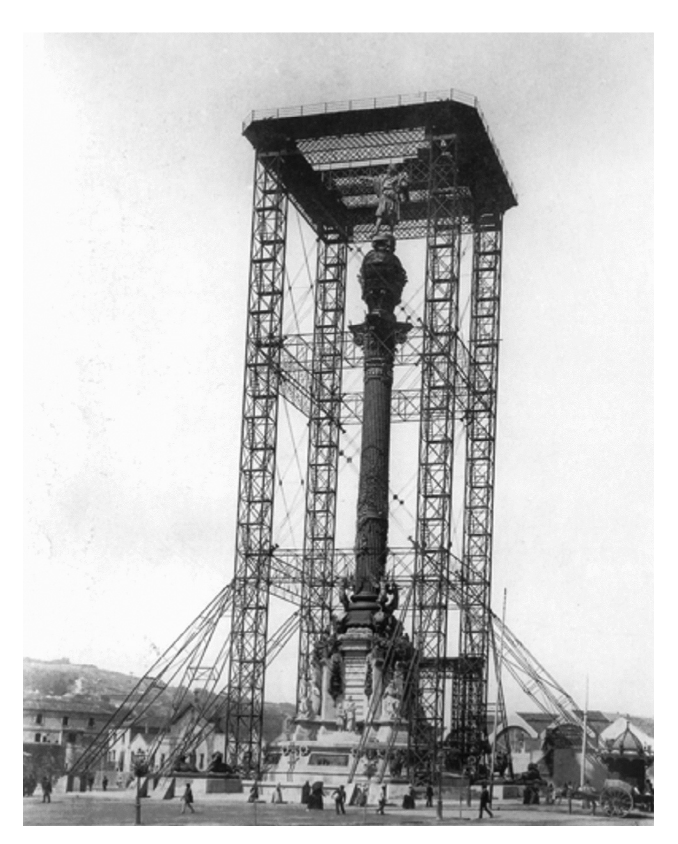


FIG. 7 JOAN TORRAS GUARDIOLA. Andamio metálico para el montaje del monumento a Colón, Barcelona, 1886-1888.

cánica y construcción de la Escuela de Maestros de Obras y ejerció de arquitecto liberal en Barcelona. Sin embargo, a partir de 1870, la Escuela de Maestros de Obras fue cerrada, pero inmediatamente se creó la Escuela de Arquitectura de Barcelona, en la que Torras fue nombrado profesor de resistencia de materiales. Su formación matemática le permitió asumir la nueva tarea y fue a partir de ese momento cuando empezó a experimentar con el hierro.

Con cincuenta años, decidió crear una empresa de construcciones metálicas, que a la larga produciría su propio hierro y acero. Con una estructura empresarial mínima se presentó al concurso de obra para la fabricación y montaje de la pasarela peatonal de Sant Agustí sobre el río Onyar en Girona (1877), y lo ganó. La base de su negocio, sin embargo se consolidó de una manera más modesta. En los anuncios publicitarios de la época se anunciaba como «Juan Torras: Arquitecto: Herrería y Construcciones», y su negocio se basaba en la venta de viguetas de hierro y jácenas armadas. Sin embargo, esta venta al por menor fue clave, porque sus principales clientes eran los arquitectos, muchos antiguos alumnos suyos confiaban en él. Torras les calculaba las estructuras de hierro, les solucionaba los problemas complicados que aparecían en las obras y se convirtió en aquel asesor estructural que estaba detrás de las grandes obras de arquitectura del periodo.

Más adelante, la consolidación de la empresa se produjo durante el proceso de construcción del monumento a Colón en un extremo de las Ramblas (1881-1888). Él no diseñó el monumento, que era obra de Gaietà Buigas i Monravà, solo fue el autor del andamio para levantar las piezas de fundición [FIG. 7], que estaba formado por cuatro pilares en celosía, arriostrados en dos niveles y un puente grúa en la parte superior. El montaje del monumento fue todo un espectáculo y *La Esquella de la Torratxa,* un semanario satírico republicano, escribía en 1888:

> «Este lunes se colocó la basa del monumento a Colón. Un concurso numeroso de público presenció la maniobra, que se realizó con toda felicidad, por medio del majestuoso andamio de hierro, construido por el arquitecto Sr. Torras. Una cosa rara: los admiradores del monumento son pocos, en cambio son muchísimos los admiradores del andamio. Escuchen ¿no podría dejarse sin hacer el monumento y conservar el andamio?».

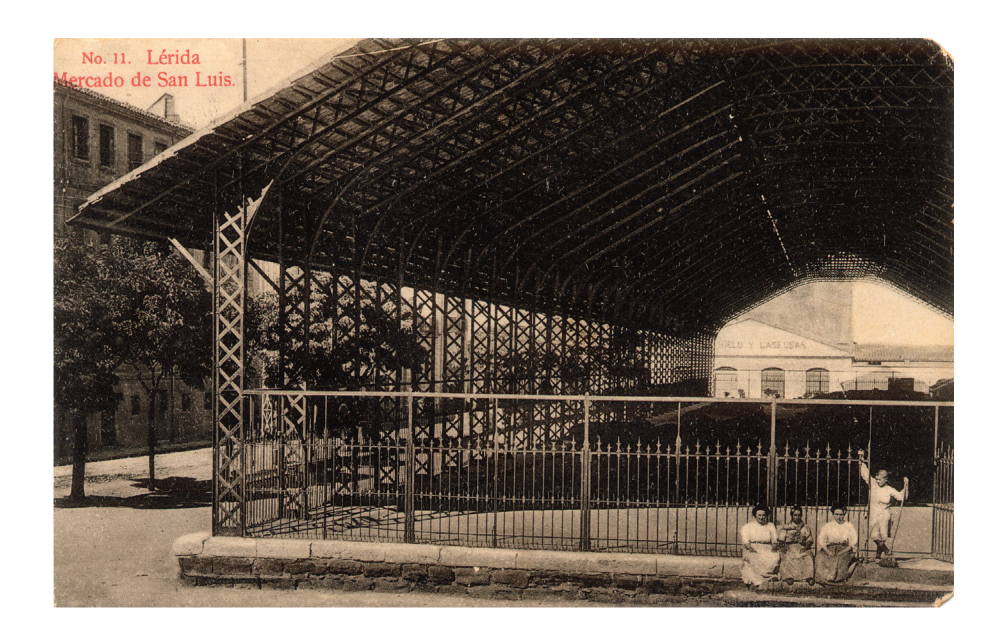


FIG. 8 JOAN TORRAS GUARDIOLA. Mercado del grano en la plaza de Sant Lluís en Lleida, 1883. Tarjeta postal, Colección Ramon Graus.

Orgulloso, el andamio emergía, en el mismo momento en que nacía la torre Eiffel en París, por encima de las azoteas de la ciudad, como una gran máquina moderna que con sus 53 metros de altura solo competía con los campanarios del Pi o de la Catedral.

Una estructura similar, aunque de menor altura, se levantó en el parque del Retiro de Madrid en 1909. Fue precisamente un alumno de Torras, José Grases Riera, quien para erigir el monumento a Alfonso XII encargó a su antiguo profesor un andamio parecido.

Durante la Restauración borbónica se construyeron buena parte de los equipamientos modernos de Cataluña y Torras estuvo casi siempre detrás de ellos. En 1883, construyó el mercado del grano de Lleida [FIG. 8]. Se trata de una larga nave abierta a los cuatro vientos con un pórtico rígido de 20 m de luz libre, en una interpretación muy *sui generis* de un pórtico Dion. Entre 1884 y 1887 colaboró con el arquitecto Joan Abril Guanyabéns en el mercado de Tortosa, donde propuso una estructura de gran solidez con un enrejado de celosía que pudiera soportar el fuerte viento de la zona. El interior de una sola nave era pautado por 14 arcos diafragma de 26 m de luz, apoyados sobre contrafuertes de mampostería. Por otro lado, en la estructura metálica para el Palau de Belles Arts de la Exposición Universal de 1888 del arquitecto August Font i Carreras, Torras propuso un equilibrio dinámico casi violletiano: de cada pilar principal volaba un medio arco hasta el centro de la nave, y su vuelco era contrarrestado por un tirante inclinado que se embebía en la fachada lateral.

Las construcciones metálicas de Torras se caracterizaron, desde sus inicios, por la ligereza. Sin embargo, no se trataba nunca de un adelgazamiento especulativo: más bien el arquitecto se sentía capaz de asumir un riesgo razonado desde el dominio del cálculo que le permitía diseñar unas estructuras competitivas en el mercado catalán. Concretamente, Torras tenía especial predilección por las vigas equilibradas, también llamadas vigas de igual resistencia. Se trataba de un tema antiguo que ya Galileo se había preguntado en sus *Discorsi* (1638), ¿qué forma debe tener una viga en ménsula sometida a una carga uniforme de manera que no sobre material y la viga se rompa de golpe en todas la secciones? Pues la forma de una parábola.



FIG. 9 JOAN TORRAS GUARDIOLA. Armaduras de «ala de mosca» a punto de ser izadas en la nave central del Palau de la Indústria de la Exposición Universal de Barcelona, 1888. *La Ilustración Española y Americana*, 8 de marzo de 1888.

Precisamente con este criterio, Torras diseñó para la nave central del Palau de la Indústria de la Exposición Universal de 1888 en Barcelona [FIG. 9] unas armaduras parabólicas, de 30 m de luz libre, que bautizó con el expresivo nombre de «ala de mosca» y que defendió en público en el Segundo Congreso Nacional de Arquitectos (1888) de la manera siguiente:

> [...] para que la obra resulte científicamente aceptable y artísticamente bella, es necesario que todos sus elementos materiales sufran en igual proporción con respecto á su límite de resistencia, ó mejor dicho, de rotura.

Es decir, la misma argumentación de la viga equilibrada. Sin embargo, para Torras los materiales de construcción pueden «sufrir» dolor. Continúa:

> ¿Sabéis qué dirían las construcciones inarmónicas si pudieran hablar? Pues algunas de ellas armarían una gritería espantosa, darían chillidos estupendos lanzados por los materiales que trabajarían con exceso. Mientras tanto habría otras que dormirían á pierna suelta porque no ejercen esfuerzo alguno, porque nada hacen. [Aplausos]
> En cambio cuando en un edificio estuvieran trabajando por igual todos sus elementos constructivos, el canto, si por canto podemos llamar á sus vibraciones mecánicas, sería tan armónico que no dudo en compararlo á una sinfonía rosiniana. [Aplausos]

Torras considera la viga equilibrada no solamente como una estructura extremadamente eficiente, también la considera bella porque es capaz de mostrar el esfuerzo de la estructura. Naturalmente estas ideas entroncan con el pensamiento que en el siglo XIX se desarrolla de Schopenhauer hasta la teoría de la Einfühlung.



FIG. 10 JOAN TORRAS GUARDIOLA. Mercado de la Abacería Central de Gràcia, 1893. Fotografia de FREDERIC BALLELL. Ref. bcn003844, Arxiu Fotogràfic de Barcelona.

La forma general de la armadura de ala de mosca no sería nada más que considerar cada uno de los pares que la configuran como una jácena que toma la forma parabólica en su cordón inferior, de manera que los esfuerzos de tracción y compresión de los dos cordones son constantes. Todas las barras estarían diseñadas a su límite de rotura. En la época se consideraba que Torras ahorraba un 13,5 % de kg de hierro respecto una armadura inglesa y un 5 % sobre una armadura Polonceau. Naturalmente este ahorro era posible cuando el material era muy caro respecto de la mano de obra.

La armadura de ala de mosca se convirtió en la marca de la casa Torras que la instaló en almacenes, fábricas, mercados y en los nuevos espacios del espectáculo como el de juego de pelota vasca. Francesc Rogent i Pedrosa construyó el Frontón Condal (1896) con la pista cubierta por una estructura metálica basada en unas ligeras armaduras de ala de mosca que sostenían un techo vidriado. Con el criterio de viga equilibrada, Torras diseñó también la prominente cubierta semicilíndrica de la segunda cancha del Frontón Barcelonés de August Font i Carreras (1896), sostenida por armaduras en arco de sección variable.

Pero el edificio en el que Torras desarrolló plenamente su dominio del hierro fue en el edificio para el mercado de la Abacería Central de Gràcia en el año 1893 [FIG. 10]. Cabe resaltar que se trataba de un mercado promovido por la iniciativa privada que confió a Torras el proyecto y la construcción del mercado, y, naturalmente, la exigencia de economía era condición de entrada. Con precisión, Torras concibió un espacio de una nave central alta, de 18 m de luz, cubierta por un arco rebajado atirantado y dos naves laterales más bajas, de 12 m de luz, cubiertas por medios arcos rebajados. La nave central es sos-

tenida por columnas de gran esbeltez y todos los detalles constructivos se basan en la racionalidad y el pragmatismo, en plena sintonía con lo que, años más tarde, J. M. Richards bautizó como la «Tradición funcional». Y precisamente, el golpe de gracia final lo dio Torras con el diseño de unos largos claristorios y su continuación en los testeros, todos dispuestos en el punto de arranque de las bóvedas, allí donde tradicionalmente se disponía el punto firme del soporte, que ahora era velado por el contraluz que provoca el ventanal. Indiscutiblemente, se trata de una de sus obras maestras.

Su empresa había crecido mucho y ocupaba tres manzanas del Poblenou. Mientras, había preparado a sus dos hijos: Josep Torras Puig era ingeniero industrial y debía suceder al padre en los talleres, y Joan Torras Puig era arquitecto. Sin embargo, Josep, el ingeniero, murió prematuramente por una intoxicación alimentaría, y muy poco después moría súbitamente el padre con 82 años de edad. Fue pues Joan, el hijo arquitecto, el que tomó el mando de la empresa y la convirtió, a partir de 1918, en la sociedad anónima Torras Herrería y Construcciones.

Para concluir, cabe justificar que el carácter de pioneros, que se ha otorgado en este texto a Michel de Bergue, a Josep Maria Cornet i Mas y a Joan Torras Guardiola, se ha fundamentado en su capacidad de interpretar, de manera genuina y muy original, los avances europeos que se produjeron en el campo de las estructuras metálicas, considerándolos siempre en el contexto menor de la Barcelona industrial del Ochocientos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, I. (1981), «L'arquitectura ferroviària a Catalunya», en *Trens i estacions*, Barcelona, Generalitat de Catalunya, pp. 87-96. Catálogo de la exposición celebrada en el antiguo mercado del Born y en la estación de Francia (31 de enero - 1 de marzo 1981).

CABANA, F. y FELIU I TORRAS, A. (1987), *Can Torras dels ferros: 1876-1985: siderúrgia i construccions metàl·liques a Catalunya*, Barcelona, Tallers Gràfics Hostench.

CABANA, F. (1992), *Fàbriques i empresaris: els protagonistes de la revolució industrial a Catalunya: vol. 1: Metal·lúrgics-Químics*, Barcelona, Enciclopèdia Catalana.

CASTAÑER, E. (1994), «Elements tradicionals i renovadors en els primers projectes de mercats de ferro a Barcelona (1848-1873)», *Butlletí del Museu Nacional d'Art de Catalunya*, nº 2, pp. 201-214.

CASTAÑER, E. (2006), *La arquitectura del hierro en España: los mercados del siglo XIX*, Madrid, Real Academia de Ingeniería.

CASTAÑER, E. (2010), «La difusión de los mercados de hierro en España (1868-1936)», en M. GUÀRDIA y J. L. OYÓN (eds.), *Hacer ciudad a través de los mercados: Europa, siglos XIX y XX*, Barcelona, Museu d'Història de Barcelona, pp. 233-262.

CASTILLO, A. DEL (1955), *La Maquinista Terrestre y Marítima, personaje histórico (1855-1955)*, Barcelona, I. G. Seix y Barral Hnos.

FELIU I TORRAS, A. (2006), «Joan Torras Guardiola (1827-1910)», en F. CABANA (ed.), *Cien empresarios catalanes*, Madrid, LID Editorial, pp. 136-143.

FELIU I TORRAS, A. (2011), «Joan Torras Guardiola, empresari i tècnic», en A. FELIU I TORRAS y A. VILANOVA (eds.), *La Barcelona de ferro: a propòsit de Joan Torras Guardiola*, Barcelona, Museu d'Història de Barcelona, pp. 17-34.

FELIU I TORRAS, A. (2011), «Joan Torras i Guardiola: Biografia (1827-1910)», *Quaderns d'estructures*, nº 42, pp. 58-62.

FELIU I TORRAS, A. (2015), «Les ostres mortíferes: Una mort que va marcar la història de l'empresa Torras Herrería y Construcciones, S.A.», *Icària. Papers de l'Arxiu Històric del Poblenou*, nº 15, pp. 48-53.

FERNÀNDEZ I TRABAL, J. y SANS I TRAVÉ, J. M. (1999), «L'arxiu històric de La Maquinista Terrestre i Marítima», en A. CARRERAS (ed.), *Doctor Jordi Nadal: la industrialització i el desenvolupament econòmic a Espanya, vol.* 2, Barcelona, Publicacions de la Universitat de Barcelona, pp. 1277-1288.

GARCIA, D. (2011), «La bastida del monument a Colom: un enginy capdavanter en les estructures metàl·liques», en A. FELIU I TORRAS y A. VILANOVA (eds.), *La Barcelona de ferro: a propòsit de Joan Torras Guardiola*, Barcelona, Museu d'Història de Barcelona, pp. 235-250.

GASCON, M. (2004), «Els orígens de la mecànica moderna a Catalunya: el cas del taller de màquines de l'indiano Joan Domènech i Coll (1839-1867)», *Estudis Històrics i Documents dels Arxius de Protocols*, vol. XXII, pp. 185-217.

GRAUS, R. y MARTÍN NIEVA, H. (2015), «The Beauty of a Beam: The Continuity of Joan Torras's Beam of Equal Strength in the Work of his Disciples –Guastavino, Gaudí, and Jujol», *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, vol. 9, nº 4, pp. 341-351.

GRAUS, R. y ROSELL, J. (2011), «El paper de Joan Torras Guardiola en l'arquitectura del seu temps», en A. FELIU I TORRAS y A. VILANOVA (eds.), *La Barcelona de ferro: a propòsit de Joan Torras Guardiola*, Barcelona, Museu d'-Història de Barcelona, pp. 35-90.

MANTEROLA ARMISÉN, J. (2011), «La construcción y los materiales metálicos», en M. SILVA SUÁREZ (ed.), *Técnica e ingeniería en España, VI: El Ochocientos: De los lenguajes al patrimonio*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias de Zaragoza, pp. 415-450.

NAVASCUÉS PALACIO,, P., (1980) «La arquitectura del hierro en España durante el siglo XIX», *CAU: Construcción, Arquitectura, Urbanismo*, nº 65, pp. 42-64.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (1993), *Arquitectura española (1808-1914),* en *Summa Artis*, vol. XXXV, Madrid, Espasa Calpe, pp. 272-288, 399-439.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (1998), «L'arquitectura catalana entre 1808 i 1888», en X. BARRAL (dir.), *Art de Catalunya: Ars Cataloniæ: Vol. 3: Urbanisme, arquitectura civil i industrial,* Barcelona, L'Isard, pp. 246-287.

NAVASCUÉS PALACIO, P. (2007), *Arquitectura e Ingeniería del hierro en España*, Madrid, Fundación Iberdrola.

PASCUAL DOMÈNECH, P. (1999), *Los caminos de la era industrial. La construcción y financiación de la Red Ferroviaria Catalana (1843-1898)*, Barcelona, Edicions Universitat de Barcelona.

PASCUAL DOMÈNECH, P. (2000), «Ferrocarrils i demanda de productes siderúrgics a Catalunya (1848-1868)», en *Arqueologia de la comunicació. Actes de les IV Jornades d'arqueologia industrial de Catalunya. Girona, 6, 7 i 8 de novembre de 1997*, Barcelona, Associacio/Col·legi Oficial d'Enginyers Industrials de Catalunya, Marcombo Boixareu, pp. 285-312.

PÉREZ I NÚÑEZ, A. (2004), «[La ciutat i les revolucions, 1808-1868: II. El procés d'industrialització] La Maquinista Terrestre y Marítima, una empresa pionera de la industrialització barcelonina», *Barcelona Quaderns d'Història*, nº 11, pp. 197-210.

PÉREZ I NÚÑEZ, A. (2007), «Josep Maria Cornet i Mas, director de La Maquinista Terrestre y Marítima», en R. GRAU I FERNÁNDEZ (ed.), *X Congrés d'Història de Barcelona – Dilemes de la fi de segle, 1874-1901 [27-30 de novembre de 2007]*, Barcelona, Arxiu Històric de la Ciutat de Barcelona, Ajuntament de Barcelona, pp. 1-19.

PÉREZ I NÚÑEZ, A. y GIRALT, R. (1994), *Josep Maria Cornet i Mas, enginyer i polític*, Barcelona, Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya.

RAVEUX, O. (2012), «Le marché de l'innovation: Vendre, installer et réparer des machines à vapeur en Catalogne au début de la révolution industrielle», en X. HUETZ DE LEMPS y J.-P. LUIS (eds.), *Sortir du labyrinthe: études d'histoire contemporaine de l'Espagne: hommage à Gérard Chastagnaret*, Madrid, Casa de Velázquez, pp. 19-44.

RICHARDS, J. M. (1958), *The functional tradition in early industrial buildings*, Londres, The Architectural Press.

RIERA I TUÈBOLS, S. (2009), «La producció industrial de La Maquinista Terrestre i Marítima», en C. CEBRIÁN, M. HISPANO y V. MATA (eds.), *De la revolució industrial a la revolució tecnològica: 150 anys d'història de La Maquinista Terrestre i Marítima, S.A. i de MACOSA*, Barcelona, Fundació Museu Historicosocial de La Maquinista Terrestre i Marítima i de MACOSA, Dos Punts, Documentació i Cultura, pp. 85-99.

ROSELL, J. (1988), «[Barcelona i l'Exposició Universal de 1888] Les tècniques de construcció, de la fusta al ferro», *L'Avenç*, nº 118, pp. 30-35.

SOLÀ, À. (1984), «La producción siderúrgica de materiales para la construcción y de mobiliario urbano: sus comienzos en Barcelona», en *Ondare industrialaren babes eta birbalorapenari buruzko I.Jardunaldiak = I Jornades sobre la protecció i revalorització del patrimoni industrial = I Jornadas sobre la protección y revalorización del patrimonio industrial: Bilbao, desembre de 1982*, [Vitoria-Gasteiz], Eusko Jauralitza, Kultur Saila, Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura, pp. 219-230.

SOLER BECERRO, R. (1999), «"Dios quiera que salgamos de una vez de tan desgraciado negocio". L'adquisició de maquinaria de la Fàbrica de la Rambla: un episodi de la difusió de tecnologia tèxtil (1833-1840)», en A. CARRERAS (ed.), *Doctor Jordi Nadal: la industrialització i el desenvolupament econòmic a Espanya, vol. 2*, Barcelona, Publicacions de la Universitat de Barcelona, pp. 1101-1124.

TIÓ I CASAS, P. (2013), «Ramon Martí i Alsina, Enric Ferau i Alsina i Tony de Bergue en la Barcelona de la Revolució Industrial», *Butlletí de la Reial Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi*, vol. XXVII, pp. 51-79.

URKIOLA, C. (2004), *El carril de Barcelona a Molins de Rei i Martorell*, [Martorell], Centre d'Estudis Comarcals del Baix Llobregat.

Volver al índice

9

La restauración del «Cable Inglés» de Almería. Cargadero de mineral El Alquife

RAMÓN DE TORRES LÓPEZ
Arquitecto

El cargadero de Alquife, popularmente conocido como «Cable Inglés», no solo está dotado de verdadera calidad arquitectónica, sino que forma parte de un paisaje urbano y territorial que no puede entenderse sin su presencia, y que además es fruto de un entorno empresarial y laboral de carácter industrial que justifica su existencia. Configura un amplio marco de conocimiento que solo puede explicarse desde una perspectiva interdisciplinar que establezca el nexo entre la arquitectura, el territorio, las actividades y la sociedad, que le confieren el carácter de *paisaje cultural*. Este planteamiento supera la escala del objeto arquitectónico para valorar las huellas del trabajo que componen dicho paisaje cultural. El Cable Inglés culmina una cadena productiva de escala territorial, que lo relaciona con las minas de Alquife, en la que una serie de hitos –instalaciones y poblado minero, estaciones, puentes, túneles– que se significan en esa conexión ferroviaria, componen un conjunto que se mantiene físicamente íntegro y vivo, dispuesto a ser un paisaje significativo de la memoria histórica y a seguir construyendo memoria.

Como hecho cultural cabe entenderlo tanto como *paisaje-discurso* –documento–, cuanto como *paisaje-figura* –monumento. Como *paisaje-discurso* nos revela su poder para hablar, comunicar y significar como expresión una conducta individual o colectiva, documento en definitiva. Pero también se revela como *paisaje-figura*, que no se agota en lo que habla, comunica o significa y se convierte en una realidad física que se nos aparece, manifestándose como síntesis arquitectónica –equilibrio entre la técnica, el vocabulario constructivo y la composición– a través de su forma, volumen, vacíos, pieles, texturas, materiales… Adquiere una dimensión que se debe a una forma particular de percepción por los sentidos, que disuelven o desbordan la *razón conceptual* –el documento, el objeto instrumental– abriendo o restituyendo su dimensión de presencia, su dimensión poética. La *razón conceptual* da paso a la *razón poética*, por la que la arquitectura cobra un valor



FIG. 1 Vista general del cargadero en su contexto portuario, Almería, 2009. Fotografía de José Morón.

que radica en su percepción, en su contemplación, en su placer estético, en su aprehensión sensible como monumento.

La conjunción del valor arquitectónico, histórico, científico-técnico, de uso, económico, simbólico, social –como recurso didáctico– y como factor de desarrollo del Cable Inglés expresa su dimensión patrimonial que contribuye a la percepción de su significado y a definir los criterios que dan sentido al proyecto de conservación y reutilización que promueve la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. El potencial de utilidad para nuevos usos, o el reciclaje del Cable Inglés, canalizado mediante el proyecto, constituye una actividad abierta y flexible que permite la acción desde una perspectiva interdisciplinar fruto del conocimiento. Describir, analizar, interpretar y poetizar (o construir) son las acciones a considerar en la estrategia de intervención que propone el proyecto.

MEMORIA HISTÓRICA

En la historia de la minería almeriense se distinguen dos épocas diferenciadas. La primera, que dura prácticamente todo el siglo XIX, caracterizada fundamentalmente por la explotación del plomo; y una segunda basada en el mineral del hierro, que domina el panorama extractivo hasta la década de los 30 del siglo XX. Este cambio no se refleja únicamente en la sustitución de un producto por otro, sino también en la entrada de nuevas estructuras técnicas, financieras y empresariales. Así, a diferencia de la primera etapa, caracterizada por la presencia de multitud de pequeñas empresas locales, este segundo momento se define por el control del producto por parte de grandes empresas extranjeras, fundamentalmente de capital inglés, francés, belga y alemán que, respondiendo a la demanda de la siderurgia europea, se asientan en la zona andaluza y acometen la construcción de las grandes infraestructuras para el transporte del mineral: entre 1895 y 1905 se construyen las grandes líneas de ferrocarril como la de Linares-Almería y la de Lorca-



FIG. 2 Pilas pórtico de la plataforma de acceso, Almería, 2009. Fotografía de José Morón.

Baza, así como las infraestructuras de descarga del mineral a los barcos, como la de Alquife en la playa de Almería.

La empresa The Alquife Mines and Railways Company Limited, con sede en Glasgow, se constituyó para la explotación de ciertos yacimientos de mineral en el término municipal de Alquife (Granada). Sin embargo el transporte de los recursos se convirtió pronto en un problema. En principio se solventó uniendo mediante un ramal de 12 km con la línea Linares-Almería, construida desde 1885. De este modo llegaba el mineral a Almería, donde era descargado a mano y transportado mediante carros a los barcos atracados en el muelle. Teniendo en cuenta que la ventaja económica que podría representar la producción de las minas de Alquife, venía dada por la reducción de las operaciones a que se sometía al mineral hasta su embarque, se planteó la necesidad de adoptar un sistema de almacenaje para descargarlo automáticamente en los barcos. Este hecho llevó a la empresa a la construcción de las nuevas instalaciones y a solicitar a la Administración española la concesión de un muelle-embarcadero para la salida de sus productos.

En junio de 1900 el ingeniero español Andrés Monche redactó un primer proyecto de embarcadero con estructura de madera, que no fue aprobado por la Junta de Obras del Puerto debido a problemas técnicos observados frente a los esfuerzos de viento y a las deficiencias en los cálculos y detalles constructivos, recomendando un nuevo proyecto con estructura de hierro y acortando la longitud del muelle. En 1901 el ingeniero John Ernest Harrison entró en contacto con la empresa británica y redactó el proyecto defini-



FIG. 3 Muelle de carga, fachada de poniente, Almería, 2009. Fotografía de José Morón.

tivo, cuyas obras comenzaron en octubre de 1902 y finalizaron en abril de 1904. La ejecución corrió a cargo de la empresa británica Alexander Findlay and Company, y Harrison designó como ingeniero residente, a pie de obra, al ingeniero británico E. S. Boyle. El 27 de abril de 1904 fue inaugurado por el rey Alfonso XIII. El 12 de junio de 1904 fue cargado el primer barco y la última carga se realizó en septiembre de 1970.

El cargadero fue declarado Bien de Interés Cultural, con la categoría de monumento, mediante el Decreto 166/1998 de 28 de julio de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Reconocimiento de valores

En el cargadero es posible reconocer los siguientes valores:

Valor histórico

Representa, como ningún otro monumento de la provincia –seguramente de Andalucía– lo que fue la industrialización en el sur de España. El análisis histórico de este proceso apunta a que el esfuerzo humano no fue acompañado de una racionalización de las explotaciones, que no se desarrollaron otros sectores de producción, que no se contó con el indispensable apoyo de medidas políticas favorables al sector, que faltó espíritu de aso-



FIG. 4 Nivel 4 del muelle de carga. Vista de las cintas transportadoras longitudinales, bajo las tolvas o depósitos del mineral, Almería, 2009. Fotografía de José Morón.

ciación, que sobró afán de lucro… y que tantos otros pequeños y grandes factores hicieron cada vez menos rentables la extracción y fundición del mineral, hasta desembocar en su abandono total.

Hoy, cuando ya no perviven las explotaciones mineras en el marco provincial, el embarcadero permanece en pie como el mejor testigo de nuestro pasado inmediato.

Valor estético

La estética, tal como la recibe la modernidad, es un producto del siglo XVIII, aunque según Menéndez Pidal la expresión «buen gusto», por sentido estético justo, ya empezó a utilizarse en España en el siglo XVI. La consideración del objeto industrial, según ha escrito el poeta José Ángel Valente «genera ya con el movimiento del Bauhaus (Gropius) una radical modificación del concepto de belleza según un proceso combinatorio que hace entrar en una relación nueva los conceptos de forma y función. La belleza residiría sobre todo en la capacidad de los elementos de un sistema o de un objeto para articularse en los de otro. La noción de forma se abre así a la noción de estructura (bau)».

En el Cable Inglés la belleza radica en su verdad, que se expresa en su razón de ser, vinculada a la congruencia entre sus estructuras constructivas con el argumento multifuncional. Su contenido, o sentido principal como arquitectura, coincide con su construcción material-formal.

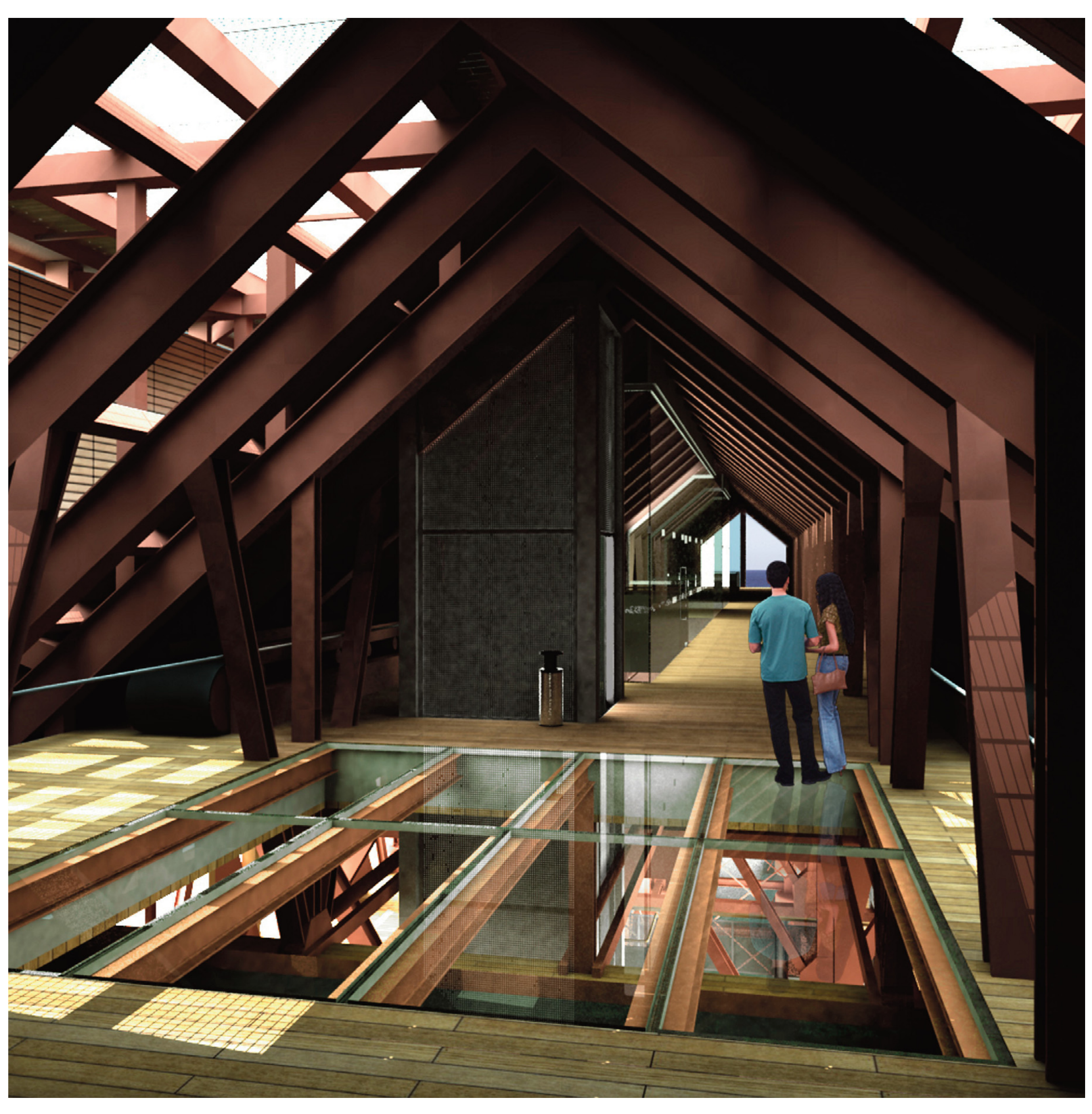


FIG. 5 Infografía del proyecto, Almería, 2009. Fotografía de Ramón de Torres.

Valor simbólico

Simbólicamente y, a nivel general, el cargadero representa a toda una época en la que en la cultura de Occidente el hierro era el elemento fundamental. De hierro eran los utensilios domésticos (cacerolas, palanganas, planchas), de hierro se hicieron muchos muebles (mesas, camas, percheros), con raíles de hierro, con locomotoras de hierro y puentes de hierro el hombre quiso poseer el mundo y fabricó con hierro su nuevo armamento bélico, mientras diseñaba de hierro los nuevos espacios que requería la sociedad industrial (estaciones, fábricas). El hierro marcaba el progreso, la civilización. Pero también la extracción del metal suponía duras condiciones de trabajo y de vida, la esclavitud del hombre por el hombre, el capitalismo salvaje, la explotación.

Valor científico

El valor científico de esta obra se expresa plenamente por tratarse de una construcción que ha llegado hasta nuestros días sin sufrir alteraciones en su estado original, pudiendo ser instrumento de análisis tanto en nuestra época como en las que nos sigan, instalada como permanencia en una ciudad cambiante.

Valor de uso

Dar nueva vida al cargadero, convertirlo en un espacio de uso público, está avalado por las razones siguientes:

- Su privilegiada situación en la confluencia del centro activo de la ciudad y el arranque del paseo marítimo, respalda su uso como espacio cultural y de ocio.
- La ciudad mantendría el único elemento singular que personaliza a su fachada marítima, ocupada por edificaciones desarrollistas de escasa calidad arquitectónica y deficiente implantación urbanística.
- En el contexto de edificaciones que como una pantalla bordea la costa, privando a la ciudad de la vista y de la brisa marina, este muelle metálico que se adentra en el agua como un espigón elevado devolverá a los ojos de los almerienses una visión que nunca debieron perder. La del propio golfo de Almería, en el centro del cual se asienta la ciudad. Desde el cargadero puede observarse toda la bahía, desde el cabo de Gata hasta Roquetas, convirtiéndose en un balcón privilegiado.

DESCRIPCIÓN GENERAL Y ESTADO ACTUAL

La extensa implantación espacial del cargadero se extiende desde la estación ferroviaria hasta la terminal de descarga propiamente dicha, conformando una tipología de carácter territorial estructurada, en sus diversos tramos y secciones, por un repertorio integral de soluciones realizadas con distintos materiales y sistemas estructurales, lo que convierte este monumento histórico en un ejemplo singular en el panorama internacional de esta tipología.

La implantación urbana: composición de las partes

En el conjunto, que tiene una longitud de 542 m, se distinguen tres partes o tramos diferentes:

Primer tramo

El primer tramo lo constituye la vía de acceso, que se eleva en rampa, y que es la prolongación de la línea de ferrocarril que termina frente a la estación de viajeros. En este tramo la vía de acceso se apoya sobre fábrica de piedra caliza y sobre entramados de acero.

Segundo tramo

El curvado del tablero que recibe las vías férreas y se apoya en núcleos discontinuos realizados con perfiles de acero, formando una estructura debidamente arriostrada, conforma el segundo tramo.

Tercer tramo

El tercero lo define, ya en el mar, el propio muelle de descarga, cuya estructura está formada por 21 pórticos transversales iguales, salvo pequeñas diferencias en los dos pórticos extremos. Constan de montantes de acero unidos longitudinal y transversalmente por barras horizontales y cuenta con los arriostramientos usuales para asegurar la rigidez del conjunto.

Análisis constructivo

El sistema de cimentación

En el sistema de cimentación, que fue pionero en su época, no se recurrió al método habitual de los demás embarcaderos, que utilizaban pilotes de madera o de fundición. Harrison propuso pilotes de acero, con un diámetro de 1,73 m, rellenos de hormigón. Desde las plataformas provisionales de madera, los pilotes se clavaron mediante una grúa empleando mazas de hinca que pesaban toneladas, consistentes en bloques de plomo de las fundiciones vecinas. Los pilotes se ejecutaron mediante módulos de acero, ensamblados con aros remachados. Como guía de la perforación de cada pilote se utilizaron pilotes de madera fijados al subsuelo. Con el auxilio de buzos se comprobaba la correcta ejecución del trabajo de hinca, posteriormente se extraía el agua del interior del pilote mediante una bomba y finalmente se rellenaban con hormigón. Asimismo, y mediante buzos, se colocaron los tirantes diagonales entre los pilotes.

La estructura

La estructura portante del muelle está constituida por 21 pórticos transversales iguales, salvo pequeñas diferencias en los dos pórticos extremos. Constan de montantes de acero unidos longitudinal y transversalmente por barras horizontales y cuenta con los arriostramientos usuales para asegurar la rigidez del conjunto. Los montantes y las barras se componen de perfiles y chapas yuxtapuestas mediante roblones. El nivel superior, que remata horizontalmente el pórtico, se constituye en soporte directo del tablero, que está recorrido por cuatro vías para el ferrocarril, desde las que se cargaban los depósitos de mineral mediante vagones de 15 toneladas.

El almacenamiento y la descarga del mineral

Los 40 depósitos de mineral, dispuestos en filas de 20 a cada lado del embarcadero, tienen una sección en forma de triángulo rectángulo con la hipotenusa inclinada 40º con respecto a la horizontal, que es el ángulo que garantiza el deslizamiento por grave-

dad del mineral. Para su descarga se utilizaron dos sistemas. En el primero, que formaba parte del proyecto de Harrison, el mineral se descargaba en los barcos mediante una serie de vertederas metálicas móviles, que se colocaban en voladizo siguiendo la misma pendiente que el fondo de las tolvas. Con el transcurso del tiempo se habilitó un nuevo sistema mediante cintas transportadoras, dispuestas en el tercer nivel del muelle, bajo los depósitos de mineral: 4 longitudinales de 50 m cada una y 2 transversales de 15 m.

OBJETIVOS DE LA INTERVENCIÓN

La intervención tiene como objetivos la conservación, protección y puesta en valor del Bien declarado, destinándolo fundamentalmente a usos culturales y de ocio.

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

Propuesta de conservación y restauración

El proyecto define las soluciones técnicas para la conservación y restauración de las partes integrantes del conjunto:

Estructura metálica

Refuerzo de la estructura, limpieza y protección de los pilotes de cimentación y tratamiento de conservación de la estructura consistente en saneado, limpieza, sellado de juntas y protección.

Elementos muebles del muelle de descarga

Tratamiento de reparación, saneado, limpieza, sellado de juntas y protección de las cintas transportadoras, compuertas de descarga, vertederas, tornos cabestrantes y vías férreas.

Fábrica de piedra

Tratamiento de conservación de la fábrica de piedra consistente en limpieza y protección.

Puesta en valor

El programa de adecuación a uso cultural y de ocio se compone de lo siguiente:

> Accesos: se disponen tres núcleos, cada uno de ellos compuesto por ascensor y escalera / Aseos / Circulaciones generales del público / Cafetería-Restaurante / Sala de exposiciones temporales, proyección de audiovisuales y otros actos públicos / Sala de exposición permanente / Zona de almacén y reservas / Zona de servicio, para uso exclusivo del personal / Zona de gestión / Sala de control e información de visitantes.

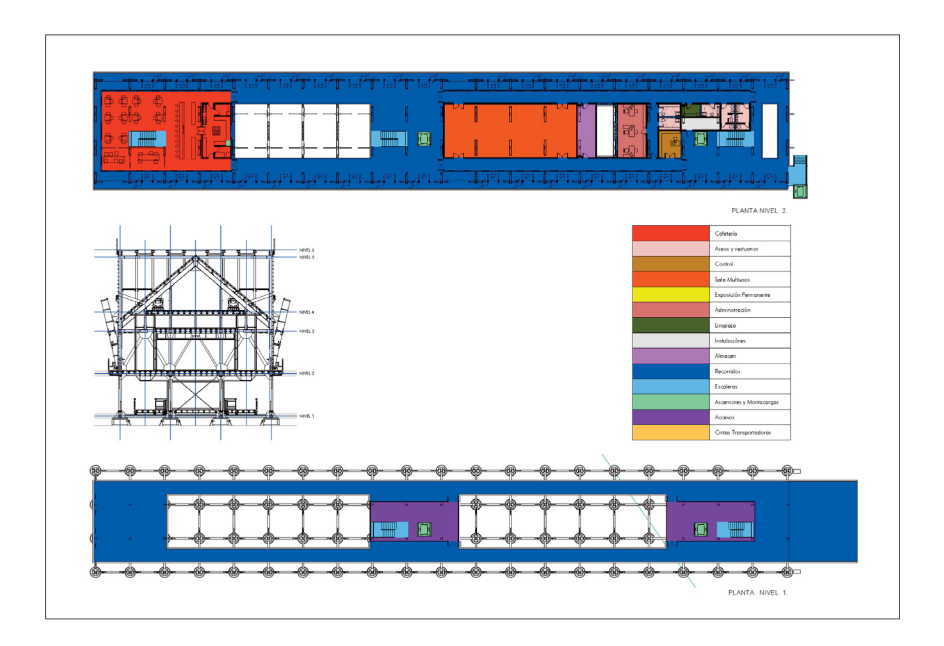


FIG. 6 Plantas niveles 1-2, Almería, 2009. Elaboración propia.

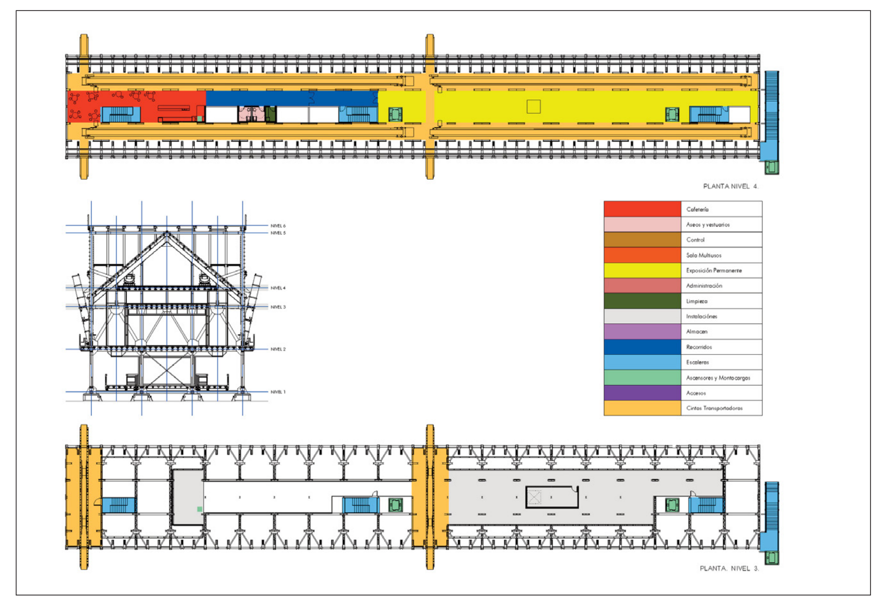


FIG. 7 Plantas niveles 3-4, Almería, 2009. Elaboración propia.

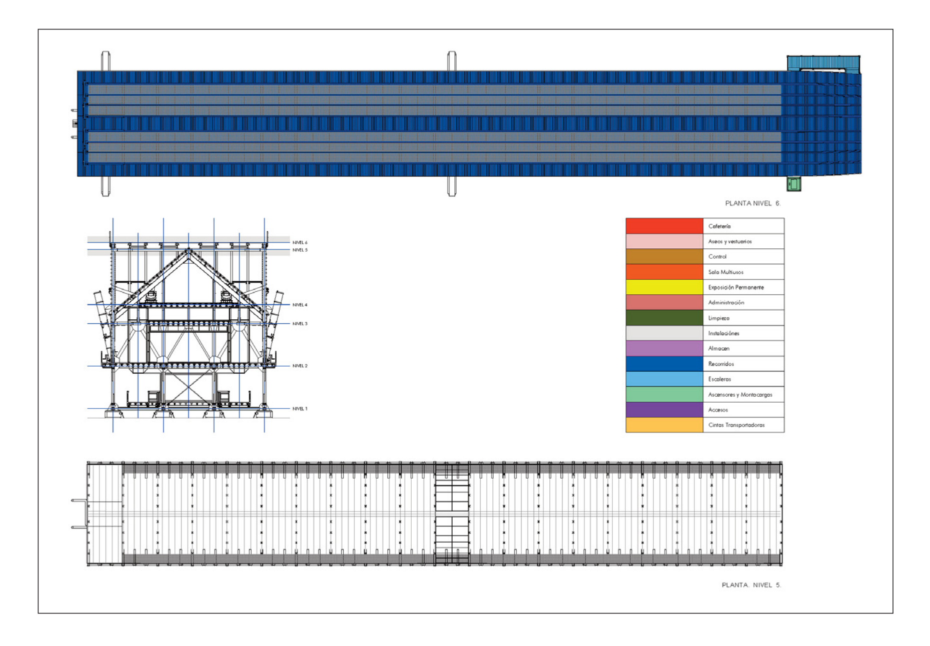


FIG. 8 Plantas niveles 5-6, Almería, 2009. Elaboración propia.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Reconocimiento de valores

El proyecto reconoce y refuerza los valores arquitectónico, urbanístico, histórico, estético, científico, de uso, económico, como recurso didáctico y como factor de desarrollo. La conjunción de estos valores expresa su dimensión patrimonial, que contribuye a la percepción de su significado y a su consideración como elemento privilegiado de nuestro presente, como pieza última o única de una tradición industrial irrepetible.

Conservación del continente y del contenido

La conservación de la estructura metálica, con las mínimas intervenciones posibles y de los elementos muebles del cargadero es un objetivo esencial del proyecto. Se propone asociar solidariamente el continente-inmueble con el patrimonio mueble, lo material e inmaterial, el vínculo con su entorno territorial y social, la cultura material en suma. En la arquitectura industrial, el contenido –las instalaciones, herramientas, máquinas, archivos– y, en definitiva, las personas que están detrás, deben incorporarse al proyecto, superando la idea de mantener solo el continente, solo la estructura arquitectónica.

Mantenimiento de los niveles de uso de las antiguas plataformas de trabajo

La valoración de las propias características arquitectónicas de la estructura metálica ha permitido que el nuevo programa funcional se incorpore, aprovechando los distintos niveles o plataformas de trabajo existentes, bajo el espacio de las tolvas, que permitían la actividad industrial.

Mantenimiento de la escala interior: mar-tolvas

La disposición de los nuevos usos, ampliando las antiguas plataformas de trabajo, se ha realizado manteniendo la posibilidad de percibir la escala interior mar-tolvas.

Para ello se han definido una serie de vacíos, a modo de «patios sobre el agua», de tal forma que en los recorridos se mantenga la visión inferior del agua y la visión superior de los planos inclinados de las tolvas. Esta doble visión que caracteriza la forma de percibir el espacio interno del muelle de carga, permite acentuar los recorridos y ofrece la posibilidad de percibir globalmente la estructura en determinados puntos.

Mantenimiento de la lógica constructiva y material

La estructura existente muestra una lógica constructiva resaltada por el hecho de que sus elementos fueron elaborados en Escocia y posteriormente se trasladaron todas las piezas hasta Almería, donde se montaron y remacharon hasta formar la estructura. Esta precisión de montaje y su lógica constructiva trata de tener una respuesta en el proyecto. Por ello los nuevos elementos se incorporan mediante uniones atornilladas, componiendo conjuntos multicapa y atribuyendo a cada una de ellas una función especializada, manteniendo una relación congruente con los materiales y soluciones constructivas existentes.

Mantenimiento de la imagen urbana y de la relación con el entorno

El tratamiento de la envolvente del cargadero que propone el proyecto tiene como objetivo mantener la imagen urbana sin introducir elementos disonantes. Se ha dotado al conjunto de los elementos mínimos necesarios para la puesta en valor del conjunto y convertirlo en un lugar de encuentro y relación para los ciudadanos. Las actuaciones propuestas y el ámbito de la intervención definido reconocen la tipología de carácter territorial del cargadero. Asimismo la restauración y puesta en valor potenciará el papel del cargadero como agente activo de las importantes transformaciones urbanas que históricamente se han producido en el entorno, rematando el espacio público de la Rambla, una de las actuaciones de regeneración urbana más significativas realizadas en la ciudad en el siglo XX.

BIBLIOGRAFÍA

TORRES LÓPEZ, R. DE (2007), «El cargadero de Alquife: arquitectura y patrimonio», *El Cable Inglés de Almería. Centenario del cargadero de mineral El Alquife*, Madrid, Dirección General de Bienes Culturales, pp. 117-204.

TORRES LÓPEZ, R. DE (2011), «La restauración del «Cable Inglés» de Almería. Cargadero de mineral El Alquife», *Ábaco. Revista de cultura y ciencias sociales*, 2ª época, volumen 4, pp. 95-102.

TORRES LÓPEZ, R. DE (2011), «El Cable Inglés», *Márgenes arquitectura*, nº 3, pp. 20-21.

Volver al índice

10
El primer depósito elevado del Canal de Isabel II

ANTONIO LOPERA
Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Arquitectura

I

El Canal de Isabel II es, sin duda, una de las obras civiles españolas más importantes del siglo XIX, y constituye el gran ejemplo de la materialización de la vida urbana moderna en la capital del reino al introducir la distribución del agua corriente en una población que hasta entonces se venía abasteciendo desde centurias mediante un sistema subterráneo de «viajes» (canalizaciones captadoras) y «arcas» (depósitos), cuyo contenido se aprovechaba a través fuentes públicas.

La iniciativa ilustrada del ministro de Isabel II Juan Bravo Murillo consistió en diseñar una compleja estrategia de captación y retención de aguas mediante embalses en la cuenca del río Lozoya, en la sierra de Guadarrama, para conducirlas a través de una extensa (unos 100 km) red de canalizaciones hasta grandes depósitos de almacenamiento y decantación, ya en Madrid ciudad.

Al filo del siglo XX y tras cincuenta años de existencia, el Canal de Isabel II se enfrentaba a una época de grandes cambios. En 1856 se había terminado el Canal primitivo y el primer depósito de Santa Engracia, y en 1882 se concluyó la presa del Villar, que regulaba el río Lozoya y permitía utilizar en verano el agua del deshielo. Con ello quedaba garantizada la aducción de agua a Madrid en cualquier época del año. Madrid tenía entonces 580.000 habitantes.

Pero la ciudad crecía y la distribución domiciliaria comenzaba a ser insuficiente, al generalizarse la construcción de nuevos edificios en el ensanche previsto por el Plan Castro de 1860. Madrid, cuya población se duplica en 40 años, crece hacia el norte y el caserío ocupa cotas cada vez más elevadas, con lo que el agua no puede llegar por gravedad a todas ellas. Los ingenieros del Canal se plantean entonces la necesidad de prever, con

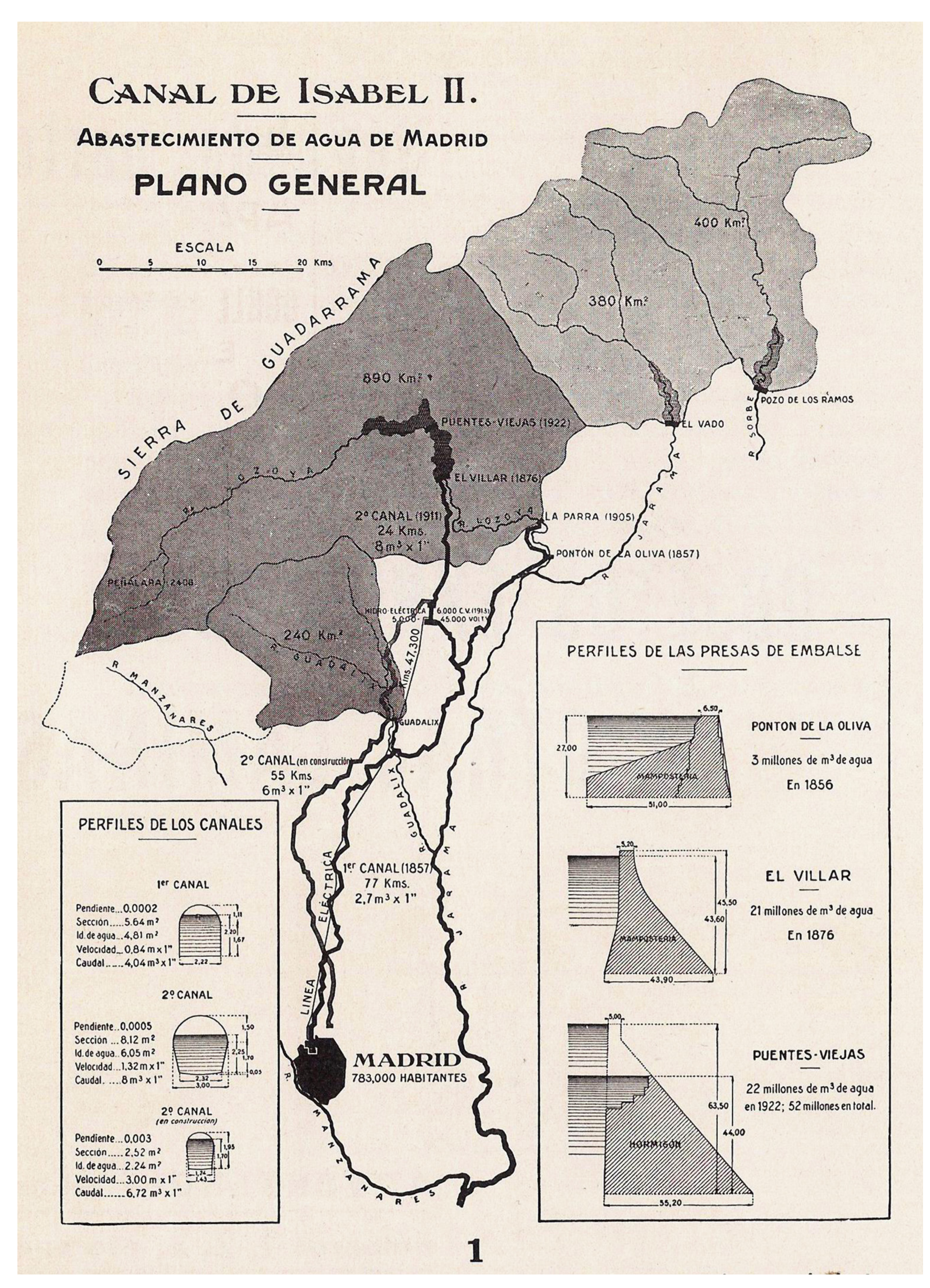


FIG. 1 Plano general de la red del Canal a principios de los años veinte del siglo pasado.

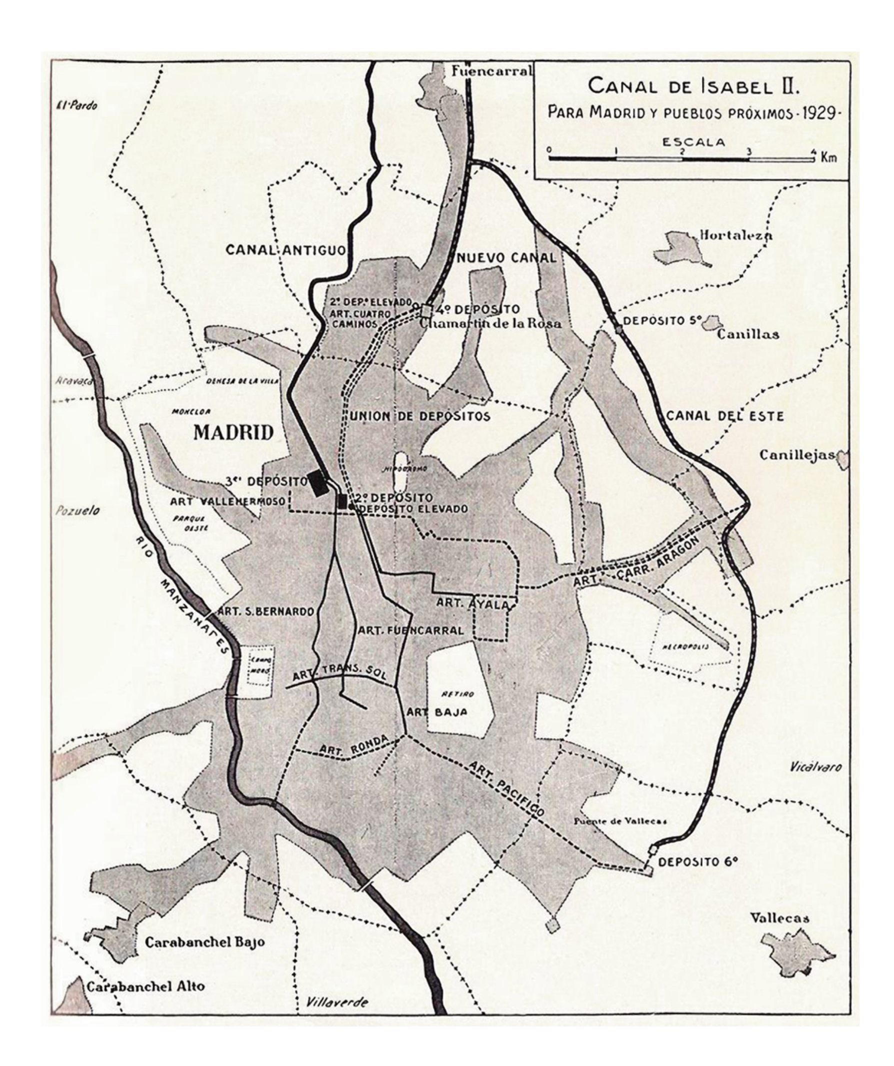


FIG. 2 Plano general de la red del Canal a finales de la década de 1920, con las ampliaciones previstas o en construcción.

amplitud suficiente, las instalaciones que garanticen un buen suministro a todo el casco urbano.

En julio de 1900 se aprueba el Proyecto de Distribución de Agua, verdadero germen de todas las obras de depósitos y ampliación de la red llevadas a cabo durante las siguientes décadas. Su redactor, Diego Martín Montalvo, abandona el esquema de una red única que funcione por gravedad y plantea la necesidad de centrales de bombeo y depósitos elevados con redes independientes. Divide la ciudad en tres zonas: de *agua rodada*, *elevada* y *sobreelevada*, en función de las cotas de la edificación. Por debajo de los 660 m el agua llegaba sin dificultad desde los depósitos enterrados, cuya cota es de 690 m; entre 660 y 690 m se hacía preciso un bombeo hasta un depósito elevado, y por encima de los 690 m de altitud, el agua debía ser empujada contra la red por la misma central de bombeo.

Durante aquellos años surgen también dificultades técnicas. El 6 de abril de 1905, la cubierta del tercer depósito, realizada con hormigón armado, se derrumba, arruinando la obra. Con sus 70.000 m^2 de superficie era el mayor depósito cubierto de la época. Las dilataciones debidas a la temperatura, en una obra de esas proporciones, fueron suficientes para colapsar una cubierta muy estricta, realizada con un material todavía insuficientemente conocido.

II

Ladrillo y acero son los materiales escogidos por los ingenieros Diego Martín Montalvo, Luis Moya y Ramón Aguinaga para redactar, en 1907, el proyecto del depósito elevado incluido en el Plan del primero de ellos. Conjuntamente se acomete el proyecto de la central elevadora, encargada de bombear el agua contra los 32 m de diferencia de cota existentes. Con el impulso de la autonomía administrativa recién conseguida por el Canal, las obras comienzan enseguida y en cuatro años estarán terminadas. El depósito propiamente dicho, o cuba, es metálico, de forma cilíndrica para que las paredes solo resistan esfuerzos longitudinales. Con la misma finalidad, el fondo se dispuso con una superficie esférica convexa, suspendida de un anillo metálico. Esta disposición es la más simple desde el punto de vista resistente y constructivo: aprovecha bien el material y no presenta complicaciones para la resolución de los detalles constructivos. El anillo de apoyo está sometido a compresiones producidas por el fondo suspendido y proporciona, por tanto, mayor estabilidad al edificio.

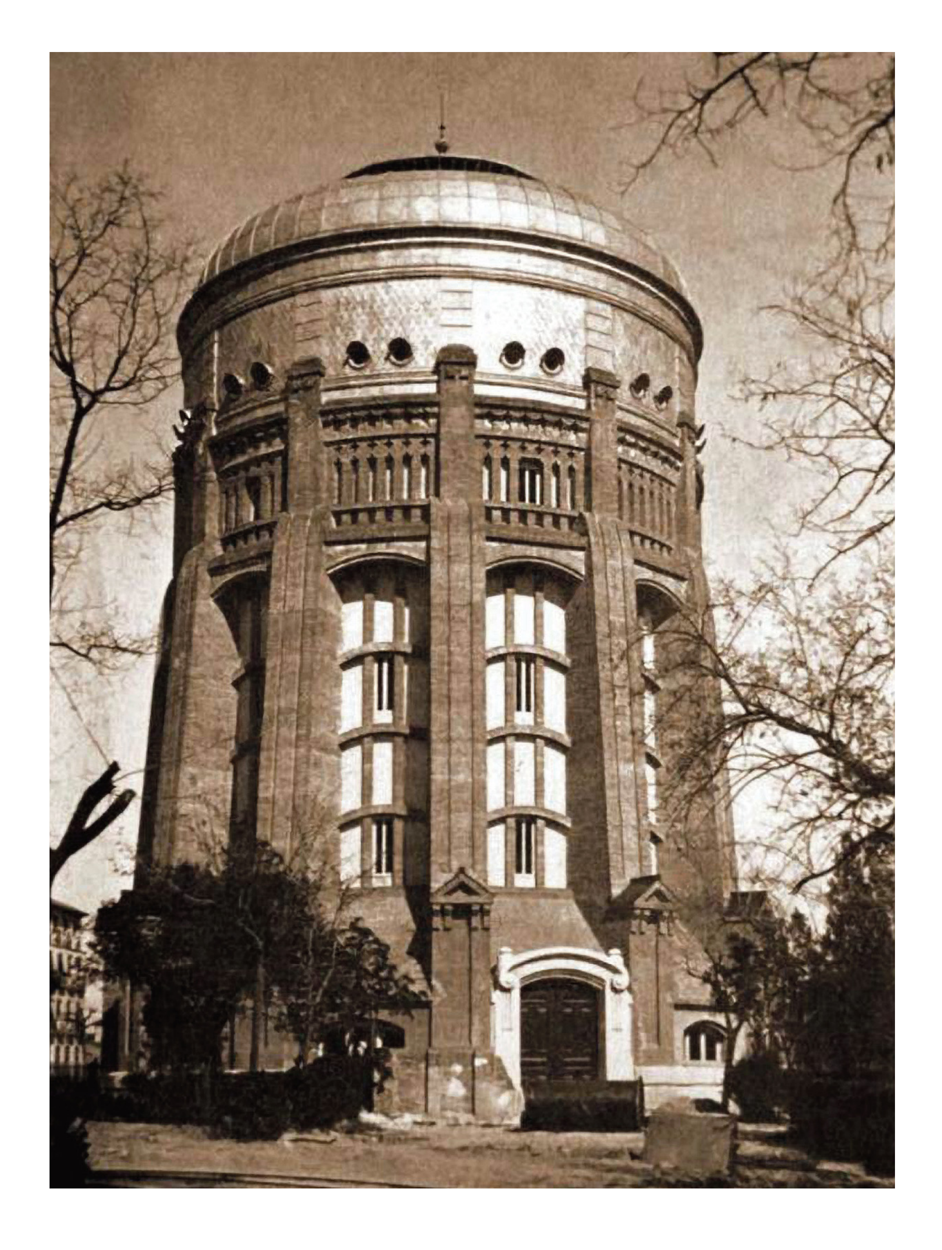


FIG. 3 El Depósito Elevado nº 1 a punto de concluirse (1912).

La cuba –con una capacidad de 1.500 m^3– se apoya a través de ese anillo metálico, que se hace descansar sobre un plinto de granito rematando una estructura de ladrillo formada por doce grandes machones radiales arriostrados por una serie de arcos, en su base y coronación. Los machones son de anchura constante, pero su canto aumenta hacia la base y adquieren forma de contrafuertes. La cubierta se dispone por el exterior de la cuba mediante una estructura de elementos lineales metálicos verticales que nacen en la fábrica de ladrillo al nivel del anillo de apoyo de la cuba y se atiranta en forma de «rueda de bicicleta» para compensar los empujes generados en la zona en la que la disposición estructural cilíndrica pasa a ser cónica. Entre esa estructura y la pared de la cuba queda un pasillo de servicio, iluminado y ventilado por tragaluces circulares. El conjunto está recubierto exteriormente de zinc, sobre plementería de ladrillo, en



FIG. 4 Maqueta del Depósito Elevado nº 1, que muestra la disposición original de sus elementos. Archivo J. Alau Massa y A. Lopera Arazola.



FIG. 5 Tuberías de impulsión y desagüe de la cuba en la cota 0,00, Se aprecian los mecanismos de la valvulería (piezas ya desaparecidas en la fecha de la restauración del edificio).



FIG. 6 Interior de la galería de distribución a la red en las inmediaciones de la calle de Santa Engracia, donde se conservan numerosos elementos originales del sistema. (Recinto no visitable en la actualidad). Archivo J. Alau Massa y A. Lopera Arazola.



FIG. 8 Estructura radial «en rueda de bicicleta», que resuelve los empujes del sector cónico sobre el cilíndrico en el cerramiento de la cuba. Archivo J. Alau Massa y A. Lopera Arazola.

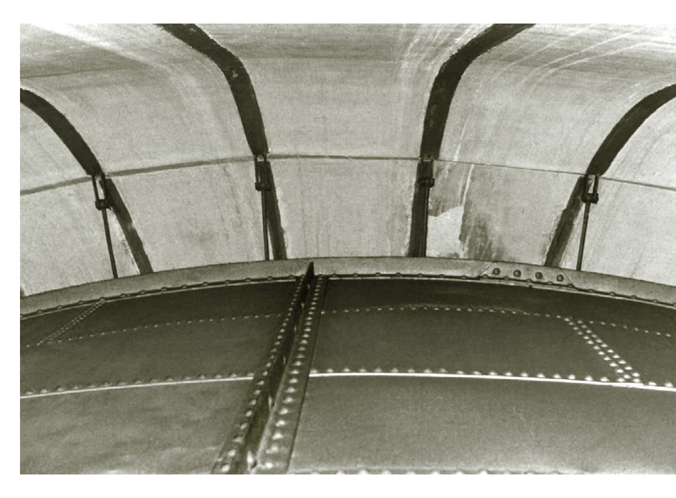


FIG. 7 Vista de la estructura cilíndrico-cónica de la cubrición de la cuba y trasdós de esta, antes de la restauración. Archivo J. Alau Massa y A. Lopera Arazola.

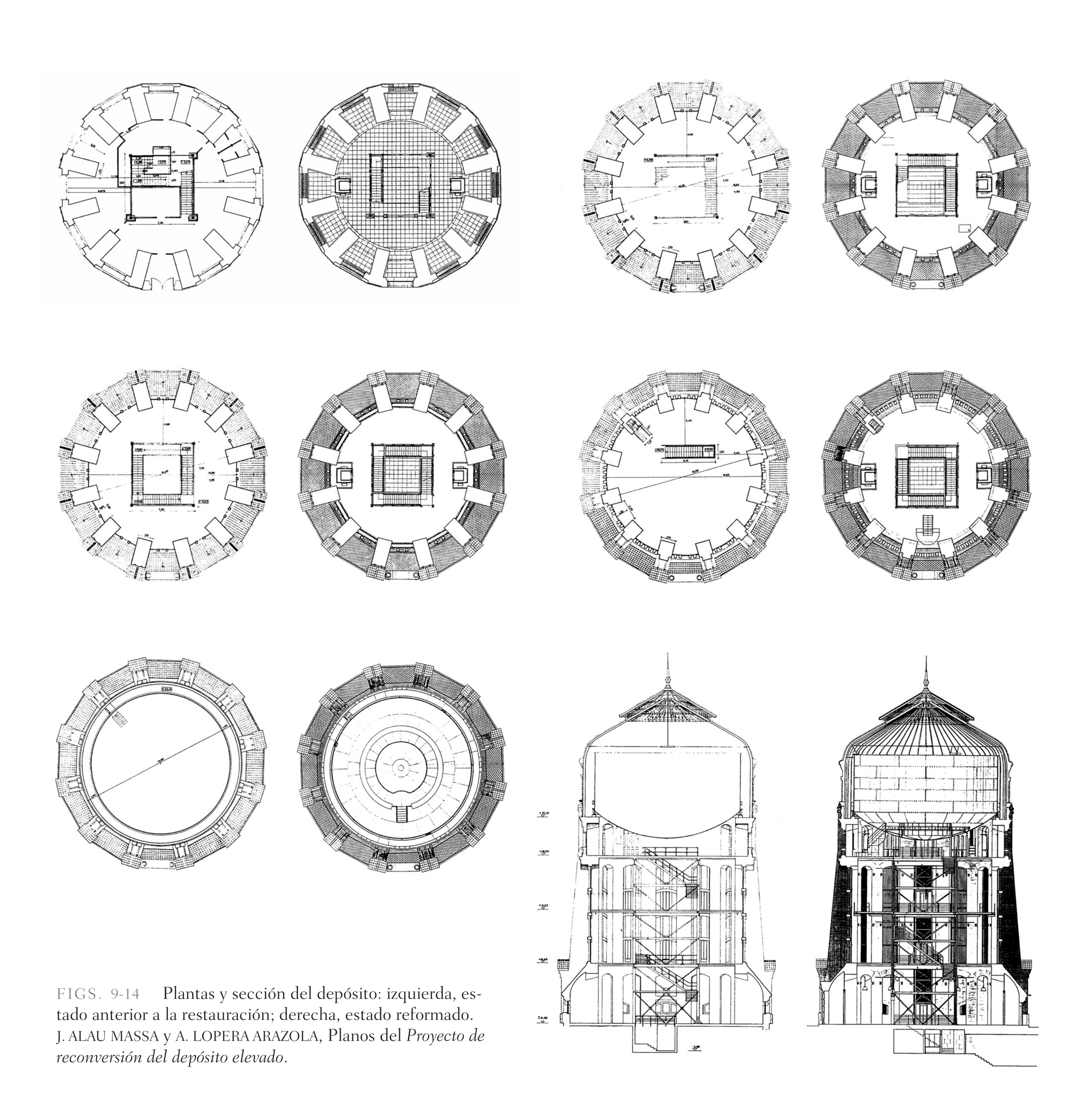
toda la altura ocupada por la cuba. En el resto del cerramiento, los machones son de ladrillo visto y los entrepaños están enfoscados.

Tradicionalmente, los depósitos elevados o torres de agua han sido objeto de variados camuflajes. La forma cilíndrica básica se transforma en torre fortificada, como en Lahren o Perpignan; en castillo, como en York; o en faro, como los depósitos de Oostburg o Wassemar. El depósito elevado del Canal, en cambio, es y parece un depósito. Sus elementos son bien legibles. La estructura portante de ladrillo está claramente diferenciada de la cuba, cuyo cerramiento exterior aparece forrado de zinc, según se ha indicado, destacando netamente los propios doce grandes nervios de ese cerramiento. El conjunto de pilarcillos y arcos rebajados que ordenan sus entrepaños es lo suficientemente ligero para clarificar su papel de mero apoyo rigidizador del referido cerramiento.

Hacia el interior, el orden constructivo genera un espacio que tiene algo de mágico. Las doce capillas que arropan los arranques de los machones se funden con estos en su intradós y dan lugar a un rico perímetro externo, a modo de ábsides, con toda la fuerza de un basamento. Sobre el techo de la planta baja nace el «fuste» o estructura soporte de la cuba, con los doce machones bien marcados hacia el interior que suben hasta la plataforma superior de trabajo. El cerramiento de la última planta, entre esta plataforma y el anillo soporte de la cuba, recibe un tratamiento distinto. Los entrepaños están subdivididos por pequeños pilarcillos de ladrillo, formando una celosía casi continua, rematada por los arcos estructurales de la corona superior. Con ello, la «base», el «fuste» y el «remate» de la estructura soporte quedan bien marcados en el cerramiento exterior.

III

En el proyecto de recuperación de 1986 se mantuvieron las características originales del depósito, introduciendo mínimos sistemas complementarios de comunicación, iluminación y climatización para satisfacer las exigencias del nuevo uso museológico-expositivo. Se dispusieron dos ascensores hidráulicos y se facilitó el acceso a la cuba por su parte inferior. Además se sustituyó un forjado intermedio que no figuraba en el proyecto primitivo de 1907 y que fue construido posteriormente con torpe trazado y materiales de peor calidad. Para hacer explícita esa condición de elemento añadido, el nuevo forjado alternativo se construyó con un entramado metálico, en contraste con las bóvedas de ladrillo de los otros dos forjados originales.



FIGS. 9-14 Plantas y sección del depósito: izquierda, estado anterior a la restauración; derecha, estado reformado. J. ALAU MASSA y A. LOPERA ARAZOLA, Planos del *Proyecto de reconversión del depósito elevado*.

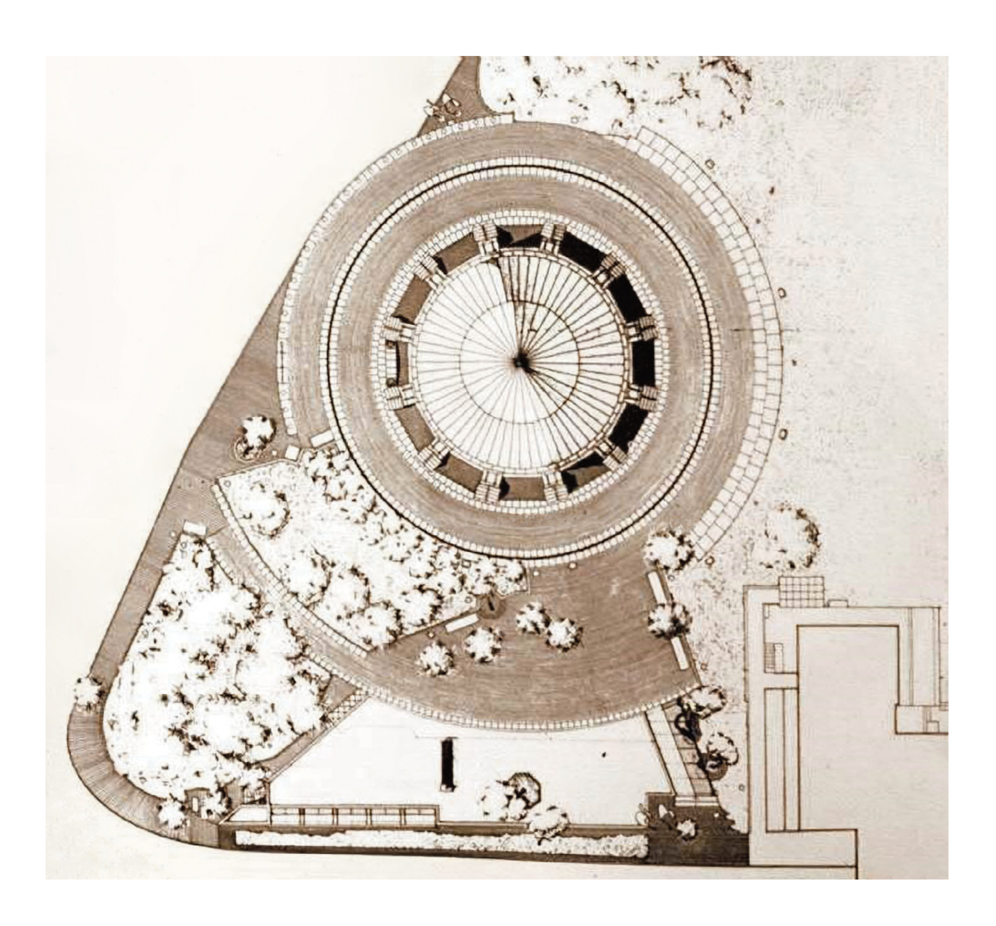


FIG. 15 Ordenación general del entorno del depósito. J. ALAU MASSA y A. LOPERA ARAZOLA, Planos del *Proyecto de reconversión del depósito elevado*.

Se recuperó también el entorno inmediato del depósito. Con total respeto a los árboles y plantaciones existentes, se reordenaron y urbanizaron los accesos y circulaciones, suprimiendo una de las entradas de vehículos desde la calle al interior del complejo del Canal. Finalmente, se construyó un pabellón auxiliar, para alojar servicios e instalaciones complementarios de difícil cabida en el interior del depósito, y que contribuye con su planta a centrar y resaltar la potente imagen de la «torre del agua» dentro del conjunto de instalaciones del Canal.

Desde el punto de vista de la patología constructiva, las fábricas del edificio del depósito no presentaban –aparentemente– problema alguno, exceptuando puntuales agrietamientos en las claves de determinados arcos entre machones, seguramente debidas a respuestas de reasentamientos en origen o por motivos de posterior puesta en carga del depósito. Asimismo, se apreciaron deterioros generalizados del ladrillo y llagueado en el exterior de esa fábrica y en el enfoscado de los entrepaños entre machones, como consecuencia de la falta de mantenimiento y la prolongada meteorización de los materiales utilizados en la construcción. Fenómeno similar –desprendimientos, roturas…– aparecían en los tejadillos cerámicos de transición entre machones de la planta baja. También, en el intradós de la cubierta se observaron descomposiciones del yeso y otros acabados en torno a la base del anillo de ventilación por efecto de las filtraciones de agua desde el exterior. Por último, piezas menores de carpintería y cerramientos de celosía en planta baja –barandillas, tensores de la cúpula…– presentaban deterioros y deformaciones puntuales siempre de fácil corrección y sustitución.

Posteriormente, y ya en el transcurso de las obras, al poder observar en detalle las partes altas de la edificación, se apreciaron importantes agrietamientos –con desplazamiento de masas de la fábrica– en la coronación de machones y, lo que era más grave, una completa oxidación destructiva de las bases de la estructura metálica cilindro-cónica de la cúpula que estaba en contacto con aquellos volúmenes. Asimismo pudo constatarse la ausencia de una solera digna de tal nombre en planta baja, del todo inútil como base de posteriores solados.

Respecto a las reformas introducidas anteriores a la actual restauración, poco se sabe, al carecerse de documentación original alguna que detalle esos extremos. No obstante, pudieron deducirse algunas intervenciones de la simple observación del edificio: incorporación de un forjado intermedio para ampliación del espacio de almacenamiento (ya comentado); posible apertura de huecos en los lienzos exteriores de entrepaños y coronación del edificio –estas últimas más dudosas–, y cegado del tramo central del último forjado. Al margen de ello, se constató una muy reciente intervención en la planta baja que, aunque afortunadamente reversible, había pervertido profundamente la estructura primitiva de la misma, al compartimentar sin visión de conjunto dicho espacio, originalmente continuo. También parece seguro que debieron sustituirse en algún momento las losetas cerámicas de los tejadillos de las capillas de planta baja, muy probablemente similares en su calidad original a las piezas aún existentes de los caballetes de coronación de los machones exteriores a la altura de dicha planta. Además, la acometida de tabiquerías, enyesados, alicatados, rozas de instalaciones, de las anteriores actuaciones, había deteriorado extensos paños de la fábrica interior de ladrillo visto.

IV

El proyecto de restauración y transformación del Depósito Elevado nº 1 se basó en la posibilidad técnica y, en cierto modo necesidad social, de recuperar un contenedor de excepcional calidad –obsoleto en su uso original y consiguientemente infrautilizado– para disfrute público (el depósito perdió su función a principio de los años 50 del pasado siglo, cuando fue sustituida su capacidad operativa por la de un nuevo depósito elevado construido más al norte, en la Plaza de Castilla). Las rotundas y elementales características formales y espaciales del Depósito Elevado nº 1 aconsejaban su adecuación a algún uso –única garantía de pervivencia y mantenimiento– de carácter cultural, tradicionalmente flexible en su práctica y «blando» en su incidencia, por lo que su habilitación como contenedor de exposiciones parecía la consecuencia más evidente. Sin embargo, el lógico imperativo de preservar al máximo sus características originales imponía unas limitaciones de partida, tendentes a disminuir el nivel de idoneidad de las prestaciones técnicas y ambientales en este tipo de espacios expositivos: neutralidad del ambiente, climatización, iluminación, capacidad expositiva, locales auxiliares de almacenamiento y aseos públicos, así como otras más complejas y complementarias de dicho uso. A partir de esas premisas, la propuesta se basó en los siguientes puntos de partida:

– Mínima alteración de las características originales del contenedor, recuperando apariencias exteriores e interiores originales –razonablemente supuestas o documentadas– corrigiendo las torpezas puntuales observadas.
– Incorporar los elementos e imprescindibles sistemas de comunicación complementarios (ascensores), de iluminación y energía eléctrica de calefacción y climatización, de megafonía y telefonía, de protección contra incendios… bajo la óptica de conciliar su menor incidencia o impacto con las exigencias de su futuro uso público.
– Reparar los desperfectos observados, introduciendo las consolidaciones y mejoras constructivas –aislamientos térmicos y acústicos, impermeabilizaciones…– necesarias para lograr su confortable utilización y asegurar su mejor mantenimiento.

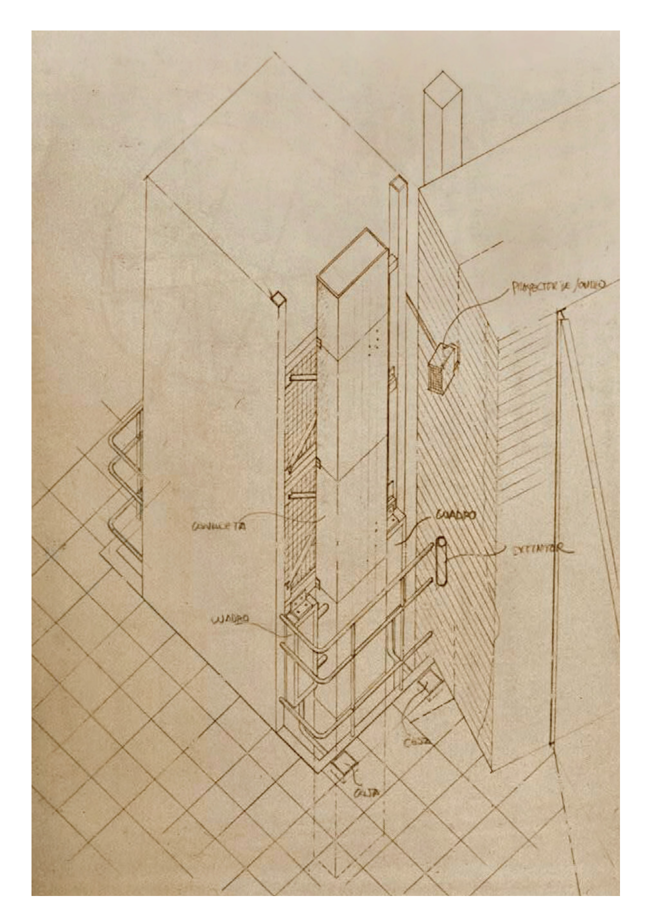
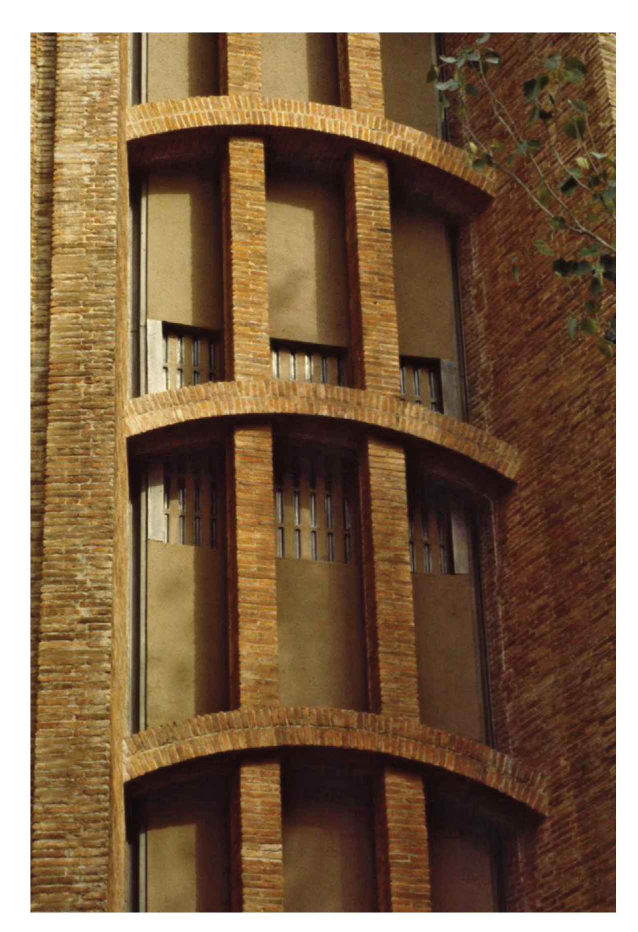


FIG. 16 Organización de los desarrollos verticales de las redes de instalaciones en el entorno de las torres de los ascensores. J. ALAU MASSA y A. LOPERA ARAZOLA, Planos del *Proyecto de reconversión del depósito elevado*.

– Posibilitar la mejor visualización del trasdós y acceso al intradós de la cubeta o vaso metálico, elemento protagonista del edificio dadas sus singulares y sorprendente calidades plásticas y espaciales.
– Trasladar el paquete de funciones complementarias (almacenamiento, aseos públicos, actividades complementarias…) a un pabellón auxiliar anejo, sito en sus proximidades y compuesto unitariamente con el edificio del depósito, procurando que su presencia, lejos de estorbar o aminorar las calidades paisajísticas de la torre, contribuyera a reordenar su entorno próximo y a encauzar su acceso natural.
– Apoyándose en los condicionamientos preexistentes, proporcionados por la disposición y volumetría de la edificación del entorno próximo, el trazado del viario, las plantaciones y masas de arbolado, las necesidades de control de la accesibilidad al complejo de las instalaciones administrativas donde se ubica el Depósito y –fundamentalmente– la presencia y visualización del mismo, se contempló la reordenación del entorno inmediato. El criterio seguido fue fundamentalmente el de recuperar el potente zócalo pétreo del edificio –parcialmente enterrado– rodeándolo de un amplio deambulatorio que facilitara la evacuación de aguas y estableciese la distancia de observación precisa. Paralelamente se suprimieron sendas casetas de instalaciones excesivamente próximas a dicho zócalo y se suprimieron los aparcamientos y accesos rodados que obstaculizaban tales intenciones.





FIGS. 17 y 18 Nuevo cerramiento del «fuste» del depósito. Vistas exterior e interior. Archivo J. Alau Massa y A. Lopera Arazola.

¿Restauración, Rehabilitación, Reparación, Recuperación?

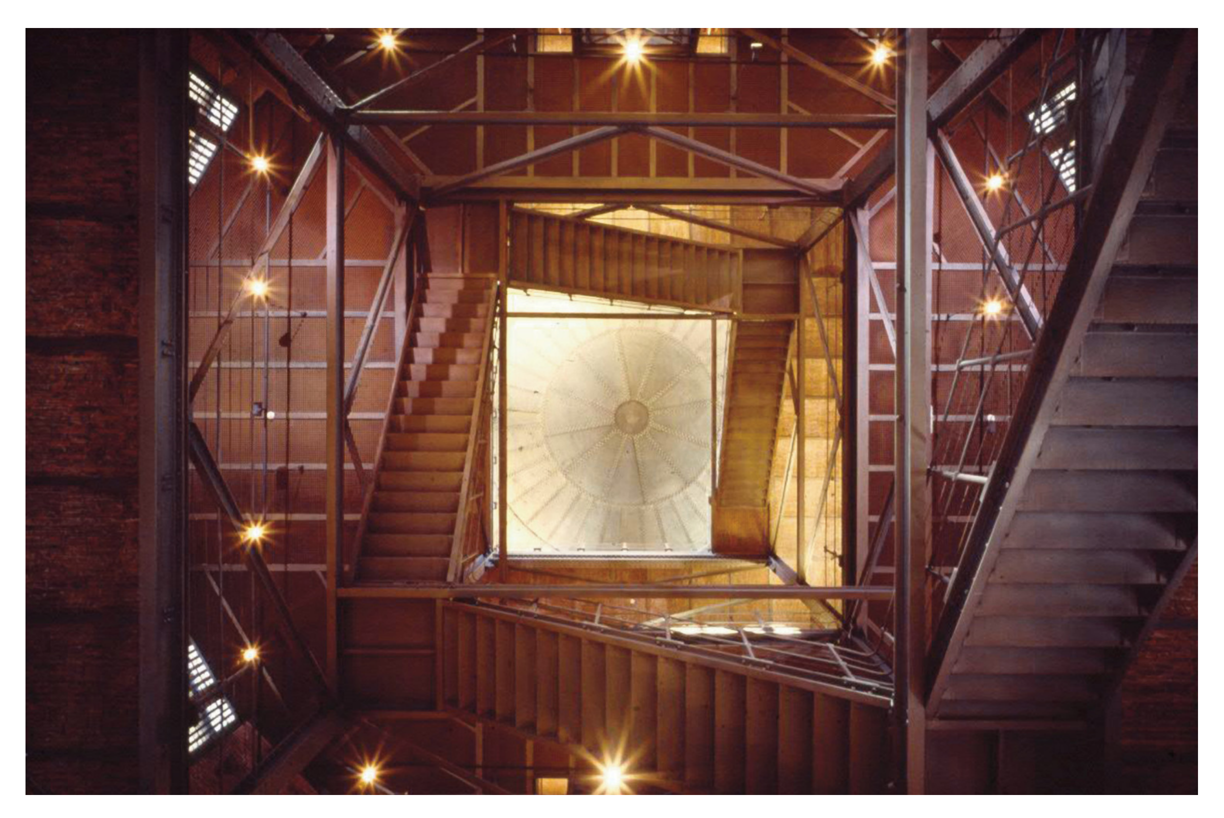
Como respuesta lógica a las premisas de partida derivadas del análisis del estado del edificio, se procedió a restaurar las condiciones originales externas de este y a introducir las reformas puntuales ineludibles, practicándose a tal efecto *ex novo* y en planta baja un segundo hueco de evacuación en el eje opuesto al principal de acceso que, interrumpiendo muy brevemente el zócalo de la base, asegurara el escape de seguridad necesario. Los tratamientos y acabados de las distintas secuencias exteriores, resumidos ordenadamente, han consistido en:

– Recomponer los huecos del «entablamento» de coronación, completando pilastrillas y suprimiendo la tabiquería entre ellos, regularizando la apariencia externa del anillo.
– Replantear el espacio entre machones, sustituyendo el mezquino tabicado preexistente entre pilastras y arquerías por un nuevo lienzo de fábrica, con el objeto tanto de enfatizar intencionadamente dichas pilastras y arquerías, como de independizar –a modo de paño «tenso»– dicho cerramiento del resto, posibilitando, de paso, breves intervalos de iluminación al interior del depósito. Este cerramiento se sustenta sobre un bastidor metálico en todo su perímetro, que, recibido puntualmente a los machones, asegura la reversibilidad de esta actuación.

– Sustituir la excesiva domesticidad del aplacado de los tejadillos de las capillas entre machones del basamento por una cubrición en zinc similar en todo a la ya existente en la cúpula, de tal modo que arranque y coronación constituyan episodios distanciados a la par que homogéneos.

En el interior, y como consecuencia de los planteamientos básicos ya enunciados, se plantearon las siguientes intervenciones:

– Instalación de sendos ascensores hidráulicos con servicios a la totalidad de las plantas, alojados en torretas metálicas cerradas lateralmente con rejilla, con vistas a proporcionar al volumen de dichos cerramientos la porosidad y ligereza demandadas por el ambiente interior del depósito. En planta baja se habilitaron sendos fosos, y los correspondientes cuartos de maquinaria, en planta sótano. Ambos ascensores diseñados, compuestos y ubicados en respuesta a las exigencias y posibilidades funcionales propias y a las condiciones dimensionales y geométrico-compositivas características del recinto, han supuesto una de las actuaciones de mayor incidencia visual en el interior del recinto, desde un enfoque no ajeno a una cierta intencionalidad «maquinista», preexistente en el propio ambiente.
– Reforma de la planta sótano, obligada por motivos de alojamiento de maquinaria de los ascensores hidráulicos, los cuadros eléctricos generales y un pequeño cubículo para limpieza. Esa actuación se planteó rectificando el tiro irregular de la escalera de fábrica que descendía al sótano, reforzando su paralelismo con el tiro de la escalera metálica del hueco central, forjando para ello sobre los cuartos de maquinaria ya comentados, con la intención de recuperar el centro de simetría que la planta central del objeto aconseja, y permitiendo, de paso, una mejor y más completa visualización de la globalidad de espacio interior y del trasdós del vaso metálico, una vez recuperada su visualización como más adelante se indica.
– Reformas en la planta primera, reducidas a restauraciones y actuaciones en acabados e instalaciones.
– Reformas más importantes en la planta segunda, consistentes esencialmente en la sustitución del forjado preexistente –actuación posterior a la construcción original del depósito, según se ha avanzado– por otro de nuevo diseño. La incoherencia del forjado descartado con el resto de lo construido basada en la heterogénea disposición de la viguería, la torpeza de las entregas en machones y arquerías, la mezquindad del entrevigado y el excesivo peso propio que limitaba las posibilidades de sobrecargas importantes, fueron las principales razones para su demolición y sustitución. El nuevo forjado se diseñó procurando una mayor ligereza desde un lenguaje coherente con el conjunto, sin renunciar a una expresión estructural contemporánea, una entrega a las fábricas más coherente y reconocible (expresada a partir de un retranqueo del paño de cerramiento y los elementos de apoyo en machones) y un mejor reparto de las cargas y prestaciones finales. A ello habría que añadir, tanto la facilidad de su construcción y montaje, como la reversibilidad de la actuación.
– Reformas en planta tercera, circunscritas a la ya citada recuperación de los huecos del anillo perimetral (completando pilastrillas, descegando entrepaños e independizando



FIGS. 19 y 20 Interior restaurado, que muestra, entre otros detalles, el nuevo forjado intermedio comentado en el texto. Fotografías José Latova.

el cerramiento, trasladado al interior de las capillas), y la apertura de un gran hueco en el forjado originalmente continuo, que ha permitido la visualización continua del trasdós metálico de la cuba a la par que una cierta iluminación natural difusa del conjunto. La incorporación de una escalera de acceso al vaso –concebida más como sólido mueble aparcado bajo la cuba que como elemento al uso tradicional arquitectónico, soluciona la transición que se ha querido rotunda y sólida, en consonancia con la volumetría presente, desde este forjado al interior del cilindro hemisférico del depósito.

– Las intervenciones en el vaso han permitido la posibilidad de su visita y estancia al habilitarse

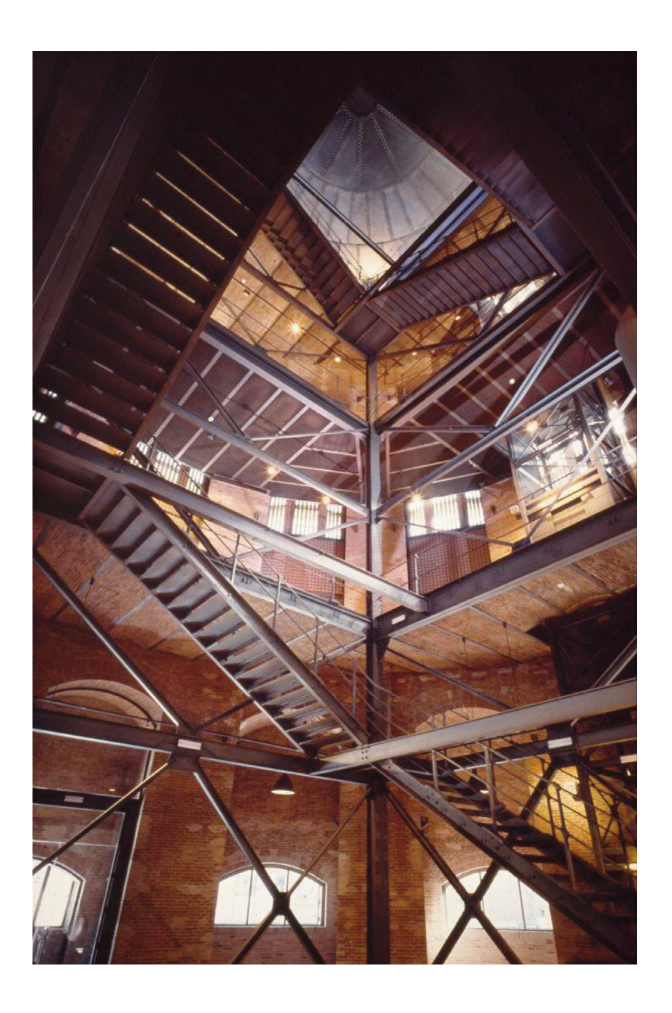




FIG. 21 Estructura radial del cono superior del cerramiento de la cuba tras la restauración. Fotografía José Latova.

un breve y ligero graderío interno, cuya implementación venía impuesta por la destacada y sorpresiva calidad del espacio interior del vaso y de la coronación de la cúpula, ambos de «obligado» disfrute. Lógicamente la irreversibilidad de la actuación ha sido la mínima posible (reducida a la breve perforación del acceso al mismo), habiéndose procedido en el diseño del graderío a planteamientos y tecnologías constructivas «blandas» y reversibles.

– Además de lo indicado, se ha actuado globalmente en los paramentos verticales, recuperando la vista de las buenas fábricas de ladrillo existentes; rejuntando, consolidando e impermeabilizando el exterior, y picando yesos y retocando lo deteriorado en el interior. Se han proyectado aislamientos térmicos y acústicos entre el trasdós e intradós de la cúpula y se ha restaurado el zinc de la cubrición externa. Los pavimentos se han tratado unitariamente en base a acabados continuos. Los escasos elementos supervivientes de maquinaria –polipasto– y de cerrajería preexistentes, tales como protecciones, quitamiedos, barandas y en general la estructura metálica,



FIG. 22 Interior restaurado de la cuba tras hacerla accesible. Fotografía José Latova.

se ha reparado, saneado, protegido frente a incendios, pintado, renovado y complementado con aquellas piezas de diseños de similar apariencia y máxima porosidad imprescindibles para la seguridad del uso público, tales como los cables introducidos en los antepechos de la escalera central. Se ha incorporado, asimismo, el mobiliario imprescindible para el uso previsto, así como un sistema de puntos –cartelas– y paños –mallas electrosoldadas desmontables– soportes para posibles piezas o elementos a exponer.

Capítulo de especial importancia ha sido el de la pintura –o si se prefiere *cromatismo*, por extensión a los revocos de entrepaños y a los distintos pavimentos– finalmente elegida. Las características y naturaleza originales del espacio interior, su «paisaje» *piranesiano*, su estética industrial y maquinista, la masiva presencia de las fábricas de ladrillo, la difusa iluminación resultante, etcétera, sugirieron el empleo para los elementos metálicos de una pintura de carácter industrial, textura «gruesa» y gama fría (bronce en tono



FIG. 23 Vista general del primer depósito elevado tras su restauración. Fotografía José Latova.

apagado); la utilización para los paramentos de los entrepaños verticales de un revoco que, entonando con las fábricas de ladrillo, permitiera distanciarse, a la vez, de las mismas; y para los pavimentos, un acabado jaspeado que recogiera las tonalidades dominantes de todo lo anterior.

Por último, respecto a la apariencia de las instalaciones vistas (iluminación, electricidad, columnas de agua, megafonía, telefonía, aparatos de climatización, termostatos de calefacción, etc.) se ha perseguido:

– Orden respecto de las características constructivas geométricas y compositivas del contenedor, evitando la dispersión y exceso de líneas o puntos, liberando especialmente las fábricas de ladrillo de «ruidos» no deseables.
– Concentración en puntos específicos, ubicando su desarrollo vertical a través de los huecos de forjado o patinillos resultantes a ambos costados de los ascensores, adosando las canaletas, columnas húmedas y cuadros de planta a las torretas estructurales de los mismos, facilitando de esta forma su instalación y manipulación.
– Aceptación –y aprovechamiento– como valor compositivo y ambiental en sí mismo del todo acorde con la naturaleza industrial y maquinista, propia del objeto rehabilitado.

Lógicamente se han cumplimentado con creces las prestaciones y los niveles tecnológicos exigibles para el servicio del uso previsto. En concreto se ha planteado la iluminación artificial desde umbrales de suficiencia que, sin pervertir el deseable «tono menor» aconsejable para el espacio interior, puedan suplementarse en cualquier momento, a partir de la potencia de reserva prevista y de los abundantes puntos de acometida instalados, en función de las necesidades coyunturales. Asimismo, la protección contra incendios, de especial importancia en este tipo de edificios de uso público, se ha resuelto desde las evidencias que la calidad histórico-artística del contenedor plantean, superando las hipotéticas limitaciones o carencias desde una mayor implementación de medidas tales como la doble protección superficial de la estructura metálica, la utilización de materiales ignífugos en acabados, la amplitud de la red de detección de incendios, la especial protección de las instalaciones eléctricas, y la abundancia de extintores y mangueras de agua y alarmas, entre otras.

Volver al índice

PUBLICACIONES DE LA FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO

COLECCIÓN JUANELO TURRIANO DE HISTORIA DE LA INGENIERÍA

2016

SÁNCHEZ LÓPEZ, Elena y MARTÍNEZ JIMÉNEZ, Javier, *Los acueductos de Hispania. Construcción y abandono.*

2015

ZANETTI, Cristiano, *Juanelo Turriano, de Cremona a la Corte: formación y red social de un ingenio del Renacimiento.*

ROMERO MUÑOZ, Dolores, *La navegación del Manzanares: el proyecto Grunenbergh.*

LOPERA, Antonio, *Arquitecturas flotantes.*

MUÑOZ CORBALÁN, Juan Miguel, *Jorge Próspero Verboom: ingeniero militar flamenco de la monarquía hispánica.*

LECCIONES JUANELO TURRIANO DE HISTORIA DE LA INGENIERÍA

2016

NAVASCUÉS PALACIO, Pedro y REVUELTA POL, Bernardo (coords.), *«De Re Metallica»: Ingeniería, hierro y arquitectura.*

CÁMARA MUÑOZ, Alicia y REVUELTA POL, Bernardo (coords.), *«Libros, caminos y días». El viaje del ingeniero.*

CÁMARA MUÑOZ, Alicia (ed.), *El dibujante ingeniero al servicio de la monarquía hispánica.* Edición en inglés: *Draughtsman Engineers Serving the Spanish Monarchy in the Sixteenth to Eighteenth Centuries.*

2015

NAVASCUÉS PALACIO, Pedro y REVUELTA POL, Bernardo (coords.), *Ingenieros Arquitectos.*

CÁMARA MUÑOZ, Alicia y REVUELTA POL, Bernardo (coords.), *Ingeniería de la Ilustración.*

2014

CÁMARA MUÑOZ, Alicia y REVUELTA POL, Bernardo (coords.), *Ingenieros del Renacimiento.* Edición en inglés (2016): *Renaissance Engineers.*

2013

CÁMARA MUÑOZ, Alicia y REVUELTA POL, Bernardo (coords.), *Ingeniería romana.* Edición en inglés ((2016): *Roman Engineering.*

OTRAS PUBLICACIONES

2016

SÁNCHEZ RON, José Manuel, *José Echegaray (1832-1916): el hombre polifacético: técnica, ciencia, política y teatro en España.*

2014

NAVASCUÉS PALACIO, Pedro y REVUELTA POL, Bernardo (eds.), *Una mirada ilustrada. Los puertos españoles de Mariano Sánchez.*

2013

CHACÓN BULNES, Juan Ignacio, *Submarino Peral: día a día de su construcción, funcionamiento y pruebas.*

2012

AGUILAR CIVERA, Inmaculada, *El discurso del ingeniero en el siglo XIX. Aportaciones a la historia de las obras públicas.*

CRESPO DELGADO, Daniel, *Árboles para una capital. Árboles en el Madrid de la Ilustración.*

2011

CASSINELLO, Pepa y REVUELTA POL, Bernardo (eds.), *Ildefonso Sánchez del Río Pisón: el ingenio de un legado.*

2010

CÁMARA MUÑOZ, Alicia (ed.), *Leonardo Turriano, ingeniero del rey.*

CASSINELLO, Pepa (ed.), *Félix Candela. La conquista de la esbeltez.*

2009

CÓRDOBA DE LA LLAVE, Ricardo, *Ciencia y técnica monetarias en la España bajomedieval.*

NAVARRO VERA, José Ramón (ed.), *Pensar la ingeniería. Antología de textos de José Antonio Fernández Ordóñez.*

2008

RICART CABÚS, Alejandro, *Pirámides y obeliscos. Transporte y construcción: una hipótesis.*

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio y NAVASCUÉS PALACIO, Pedro (eds.), *Ars Mechanicae. Ingeniería medieval en España.*

2006

MURRAY FANTOM, Glenn; IZAGA REINER, José María y SOLER VALENCIA, Jorge Miguel, *El Real Ingenio de la Moneda de Segovia. Maravilla tecnológica del siglo XVI.*

2005

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio y VELÁZQUEZ SORIANO, Isabel, *Ingeniería romana en Hispania. Historia y técnicas constructivas.*

2001

NAVARRO VERA, José Ramón, *El puente moderno en España (1850-1950). La cultura técnica y estética de los ingenieros.*

1997

CAMPO Y FRANCÉS, Ángel del, *Semblanza iconográfica de Juanelo Turriano.*

1996/2009

Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano.

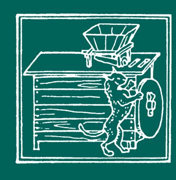
1995

MORENO, Roberto, *José Rodríguez de Losada. Vida y obra.*

Volver al índice

En este libro se publican las conferencias impartidas en el curso celebrado en 2015 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. *De Re Metallica: Ingeniería, hierro y arquitectura* supone la séptima entrega de la colección *Lecciones Juanelo Turriano de Historia de la Ingeniería*, iniciada en 2013 y que recoge, principalmente, los cursos que la Fundación Juanelo Turriano organiza anualmente en colaboración con diversas universidades. Su objetivo es contribuir al conocimiento de las aportaciones históricas de la ingeniería y a la puesta en valor de su relevancia cultural.

El hierro como material auxiliar de la construcción tiene antecedentes lejanos, pero fue a partir de la Revolución Industrial cuando tomó carta de naturaleza imponiéndose con su personalidad y transformando el arte de construir. Prestigiosos historiadores, ingenieros y arquitectos reflexionan en *De Re Metallica* sobre cómo el hierro transformó a lo largo del siglo XIX la ingeniería y la arquitectura, contribuyendo de manera decisiva a dar forma a la sociedad moderna.



FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO